IMPULZUSZAJ VIZSGÁLATA ÉS HATÁSÁNAK CSÖKKENTÉSI LEHETŐSÉGE VEZETÉKES ADATÁTVITELI RENDSZEREKBEN

Kandidátusi Értekezés

Készitette: Hegyesi Lajos aspiráns 1974

Aspiránsvezető: Dr. Lajtha György
a müszaki tudományok kandidátusa

MAGYAR
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
KÖNYVTÁRA

T A R T A L O M J E G Y Z É K

Előszó

1. Bevezetés

2. Távközlő csatorna modellje

2.1 Vezetékes adatátviteli csatorna modellje

2.2 Adatátviteli összeköttetés minőségi jellemzői

2.3 Valóságos adatátviteli csatorna modellje

3. Impulzuszajjal kapcsolatos eddigi kutatások ismertetése

3.1 Impulzuszaj formális definiciója

3.2 Impulzuszaj mérések eredményei, impulzuszaj modellek

3.2.1 J. H. Fennick által kidolgozott impulzuszaj modell

3.2.2 Mertz által javasolt impulzuszaj modell

3.3 Feltételes hibavalószinüség impulzuszaj jelenlétében

3.3.1 Feltételes hibavalószinüség valóságos adatátviteli rendszerekben

3.4 Véletlen zajfolyamat áthaladása az adatátviteli távközlő csatornán, elkenési technika

3.4.1 Az amplitudóeloszlás transzformációja

3.4.2 Impulzuszaj komponenseinek fázisviszonyai

3.4.3 Elkenési technika

3.4.4 Elkenőszürők hatása a feltételes hibavalószinüségre

4. Impulzuszaj statisztikus jellemzői, azok mérése és hatása a véletlen távirótorzitásra

4.1 Amplitudósürüségfüggvény leirására javasolt modell

4.2 Számlált zajimpulzusok időbeli eloszlása

4.3 TT-5352 tipusu Impulzuszaj Számláló Berendezés

4.4 Véletlen távirótorzitás impulzuszaj jelenlétében

4.4.1 Elkenőszürő hatása a véletlen távirótorzitásra és hibaarányra

4.5 Elkenőszürő amplitudósürüségfüggvényre gyakorolt hatásának vizsgálata

4.6 Zajimpulzusok időtartamának valószinüségi eloszlása

4.7 Számlált zajimpulzusok gyakorisága a küszöbszint függvényében

4.8 PKI 10-csatornás Impulzuszaj Számláló Berendezés

4.9 Feltételes hibavalószinüség mérése

5. Összefoglalás

1. sz. Melléklet

Kapcsolási elrendezés detektálási holtidő előállitására /Szolgálati találmány/

ELŐSZÓ

A digitális hiranyag továbbitása elsősorban beszédátvitelre létrehozott távbeszélő hálózaton történik. Az adatátviteli összeköttetésen továbbitott digitális információ előállitása és feldolgozása uj módszerekkel történik, igy az adatátvitelre igénybevett távbeszélő hálózatok tervezése, illetve azok minőségének jellemzése az eddigiektől részben eltérő módszereket kiván meg.

A távközlő hálózatokban jelenlévő zavartatások eltérő módon hatnak a beszédátvitelre, valamint az adatforrások által előállitott információ továbbitására. Egyes zavarfajták jelentősége megnőtt, mivel az adatátvitel megbizhatóságának szempontjából kiemelkedő fontosságuak.

Az adatátviteli kutatások számos uj eredményt hoztak, melyek alkalmazásra kerültek a gyakorlatban is. Az adatátviteli hibaarány szempontjából fontos zavarfajta - az impulzuszaj - kutatásának területén azonban napjainkban még nem tisztázott megnyugtatóan valamennyi kérdés, az irodalomban ezen a területen egymásnak ellentmondó véleményekkel is találkozhatunk. Az értekezés ezen a téren szeretne előbbre lépni.

Hazánkban az adatátviteli kutatások a Posta Kisérleti Intézetben kezdődtek a 60-as évek derekán. Az első feladatok célja a táviró és távbeszélő-hálózat felmérése volt adatátviteli hibaarány szempontjából.

Az adatátviteli szolgáltatás bevezetése Magyarországon még a kezdetén tart. Részben ez az oka annak, hogy az önálló adatátviteli kutatásoknak a postán még nincs nagy hagyománya, és emiatt vizsgálataim tárgyául választott impulzuszaj problémájának területén sajnos nem használhattam fel a hazai kutatások eredményeit.

Ez az értekezés szerény első hazai kisérlet kiván lenni az impulzuszaj folyamat törvényszerüségeinek feltárásában és az adatátviteli hibaarányra gyakorolt hatását csökkentő eljárások kutatásában.

Munkámban sokan segitettek. Mindenekelőtt Lajtha György kandidátusnak aspiránsvezetőmnek tartozom köszönettel, aki konkrét elméleti és gyakorlati tanácsokon tul a kutató munka során nélkülözhetetlen szemléleti és módszertani tanácsokkal is ellátott.

Szeretnék e helyen köszönetet mondani Rontó Tibornak a Posta Kisérleti Intézet igazgatójának, Koperniczky Károly igazgató helyettesnek, és a Posta Központi Táviró Hivatal Igazgatójának Kurucz Istvánnak, akik biztositották munkám feltételeit és lehetővé tették az Intézet laboratóriumaiban történő méréseket. A végzett munka alkalmával számos mérést végeztem, és ezek alkalmával nagy segitségemre voltak a PKI Rend-

szertechnikai Osztályának munkatársai, akik közül Bakó Imrénét és Hus Wéber Károlyt személyesen is ki kell emelnem és akiknek e helyen ismét köszönetet kell mondanom.

1. Bevezetés

A megjelenő uj igények arra késztették a hiradástechnikát, hogy létrehozza az automatizált ember-gép, illetve gép-gép viszonylatú rendszereket. Ez az új távközlési rendszer - jellegéből adódóan - új követelményeket támaszt a meglévő hiradástechnikai rendszerekkel szemben. Kialakultak és széleskörben elterjedtek a távadatfeldolgozó hálózatok, melyek az ember-számitógép, számitógép-számitógép viszonylatú információátvitel nélkülözhetetlen elemeivé váltak. A számitógépeket alkalmazó távadatfeldolgozó rendszerek; a számitástechnika, az elektronikus adatfeldolgozás, az információelmélet és a hiradástechnika kölcsönhatásaként alakultak ki, lehetővé téve az információk gyüjtését, tárolását, továbbitását, illetve feldolgozását.

A számitástechnika széleskörü elterjedése következtében a nagy központi számitógépek által nyújtott sokféle és magasszinvonalú szolgáltatás sok felhasználó számára válik elérhetővé. Ez azt jelenti, hogy a számitógépet nemcsak a gép telephelyén, hanem attól nagy távolságokban lévő előfizetők egyidőben is igénybe tudják venni. Erre a célra a meglévő távközlési hálózatokat alkalmazták. Távközlési hálózat alkalmazásával a számitógép és sok - távol elhelyezett - adatvégberendezés összekapcsolható és ezáltal lehetővé válik adatok feldolgozása azok keletkezési és felhasználási helyé-

től nagy távolságban is. Egyetlen központi számitógéphez - távközlési útvonalon keresztül - sok távoli adatvégállomás csatlakozhat. Ilyen rendszerek alkotják a távadatfeldolgozó hálózatokat, melyekben a számitógépet az adatvégállomással összekötő elem: az adatátviteli összeköttetés.

A digitális adatforrás által előállitott információ a távközlő hálózaton történő továbbitás során különböző nemkivánatos zavartatások hatásának van kitéve, mely az átvitt információban hibákat okozhat. Az információátvitelben ezeket a nemkivánatos zavartatásokat zajoknak tekintjük.

A távközlő csatornán átvitt jelek determinisztikusak vagy véletlenszerüek lehetnek. A zaj rendszerint véletlen és megtörténhet, hogy az átvitt jelek determinisztikus tulajdonságát lényegesen megváltoztatja az átvitel során jelenlévő zaj, mely együtthalad a távközlési csatornán a jelekkel.

Adatátviteli rendszerek vizsgálata során bizonyitást nyert, hogy az impulzuszaj befolyásolja elsősorban a nyilvános kapcsolt távbeszélőhálózaton üzemelő adatátviteli összeköttetések hibaarányát, valamint az, hogy ennek a zavartatásnak a kiküszöbölése okozza a legtöbb gyakorlati problémát.

Nehézséget jelent, hogy a távbeszélő rendszerek vizsgálatánál alkalmazott zajmérési módszerek - adatátviteli csatornák vizsgálatára - önállóan nem alkalmazhatók. A távbeszélő összeköttetések zajmérési módszereit az jellemzi, hogy a megmért zaj értéke és a beszédátvitel minőségére gyakorolt zavaró hatás között jól definiált kapcsolat áll fenn. A távbeszélő áramkörök minőségének ellenőrzésére szolgáló zajmérő eszközökkel. az impulzuszaj nem is értelmezhető, igy ennek a zajtipusnak a vizsgálatára, ill. mérésére új eszközöket és mérési technikát kellett kidolgozni. Az impulzuszaj vizsgálatára kidolgozott mérési eljárások és mérőberendezések közös jellemzője az, hogy a mért impulzuszaj értéke és az általa - adatátviteli rendszerekben - előidézett zavaró hatás között szoros korreláció áll fenn.

Jelen értekezés célja: az adatátviteli távközlő csatornában jelenlévő impulzuszaj folyamat jellemzőinek vizsgálata, a zajfolyamat matematikai leirása, a hibaarányra és a véletlen távirótorzitásra gyakorolt hatásának elemzése, valamint az impulzuszaj hatását csökkentő eljárások keresése.

A kitüzött cél elérése érdekében a vizsgálatok előtt áttekintjük azokat a legfontosabbaknak tartott fogalmakat, amelyeket a vizsgálat során felhasználunk. Ezután az impul-

zuszajjal kapcsolatos külföldi kutatások, valamint azok eredményei kerülnek ismertetésre. Megadjuk az impulzuszaj formális definicióját is.

Mérésekkel meghatározzuk az impulzuszaj amplitudó sürüségfüggvényét, a számlált zajimpulzusok időtartománybeli eloszlását, a zajimpulzusok időtartamának hisztogramját. Az empirikus adatok ismeretében kisérletet teszünk a fenti jellemzők eloszlásfüggvényeinek matematikai leirására. Ismertetésre kerül az impulzuszaj, illetve az eredő zajfolyamat amplitudósürüségfüggvényének leirására kidolgozott modell. Megvizsgáljuk az elkenési technika jellemzőit és ennek alkalmazásával elérhető hibaarány csökkentés mértékét, valamint a véletlen távirótorzitás és az impulzuszaj amplitudó-sürüségfüggvényének változását elkenőszürő hatására. Vizsgálatokat végzünk, hogy megállapitsuk a keskenysávú FMVT rendszerek, valamint a középsebességü adatátviteli összeköttetések véletlen távirótorzitását impulzuszaj jelenlétében. A keskenysávú FMVT rendszerek véletlen távirótorzitásának vizsgálata egy fontos gyakorlati problémával, a vivőáramú rendszerek bemeneteire adható maximális adószintek csökkentésének lehetőségével függ össze.

Ismertetésre kerül a számlált zajimpulzusok gyakorisága a küszöbszint függvényében továbbá a méréssel meghatározott feltételes hibavalószinüség, 1200 bps sebességü modem alkalmazása esetén.

A vizsgálatok megkezdésekor hazai mérőberendezések nem álltak rendelkezésre az impulzuszaj jellemzőinek meghatározására. A megtervezett és kivitelezett TT-5352 tipusú Impulzuszaj Számláló, valamint a PKI - 10 csatornás Impulzuszaj Számláló Berendezés-ek rövid leirása mellett ismertetésre kerül a számlálási holtidőt előállitó kapcsolás szabadalmi leirása. A harmadik generációs kivitelü TT-5352 tipusú Impulzuszaj Számláló Berendezés az 1972. évi tavaszi Lipcsei Vásáron aranyérmet nyert.

A következőkben áttekintjük a távközlő csatorna modelljét.

2. Távközlő csatorna modellje

2.1 Vezetékes adatátviteli csatorna modellje

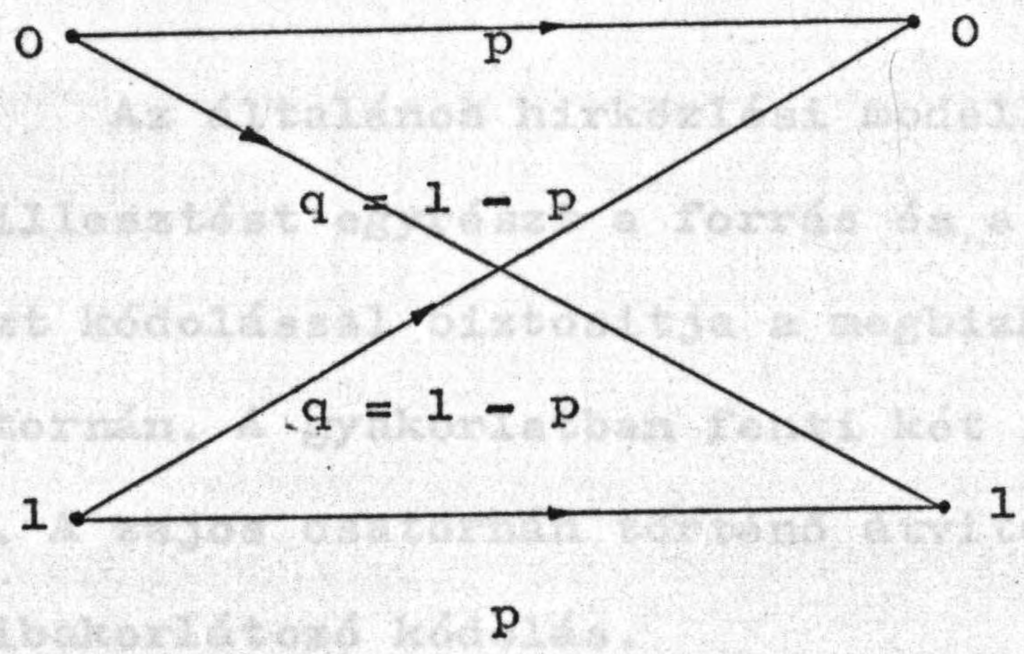
Adatátvitel szempontjából legfontosabb diszkrét csatorna modell a bináris szimmetrikus csatorna /BSC/. A két szimbólum; 0,1. Feltesszük, hogy egy ilyen abc-jü forrás jeleit BSC-n keresztül továbbitjuk. Az 1. sz. ábra a BSC rendszer modelljét mutatja.

BSC esetén teljesülniük kell az alábbi feltételeknek:

$$P\,/0|0/ = P\,/1|1/ = p \qquad /2.1/$$

$$P\,/0|1/ = P\,/1|0/ = 1-p = q. \qquad /2.2/$$

p tehát annak a valószinüségét adja, hogy 0-t adunk a



1. sz. ábra

bemenetre, és 0-t kapunk a kimeneten, mig a hibás vétel valószinüsége mindkét jelre q. A BSC - Shannon által megfogalmazott - fajlagos kapacitása [2.] :

$$C = 1 - p.\log_2 p - q.\log_2 q \quad \left[\text{bit/szimb.}\right] . \qquad /2.3/$$

Ha az egyes szimbólumok adására forditott idő egyforma, akkor a csatornakapacitás időegységre vonatkoztatva is megadható:

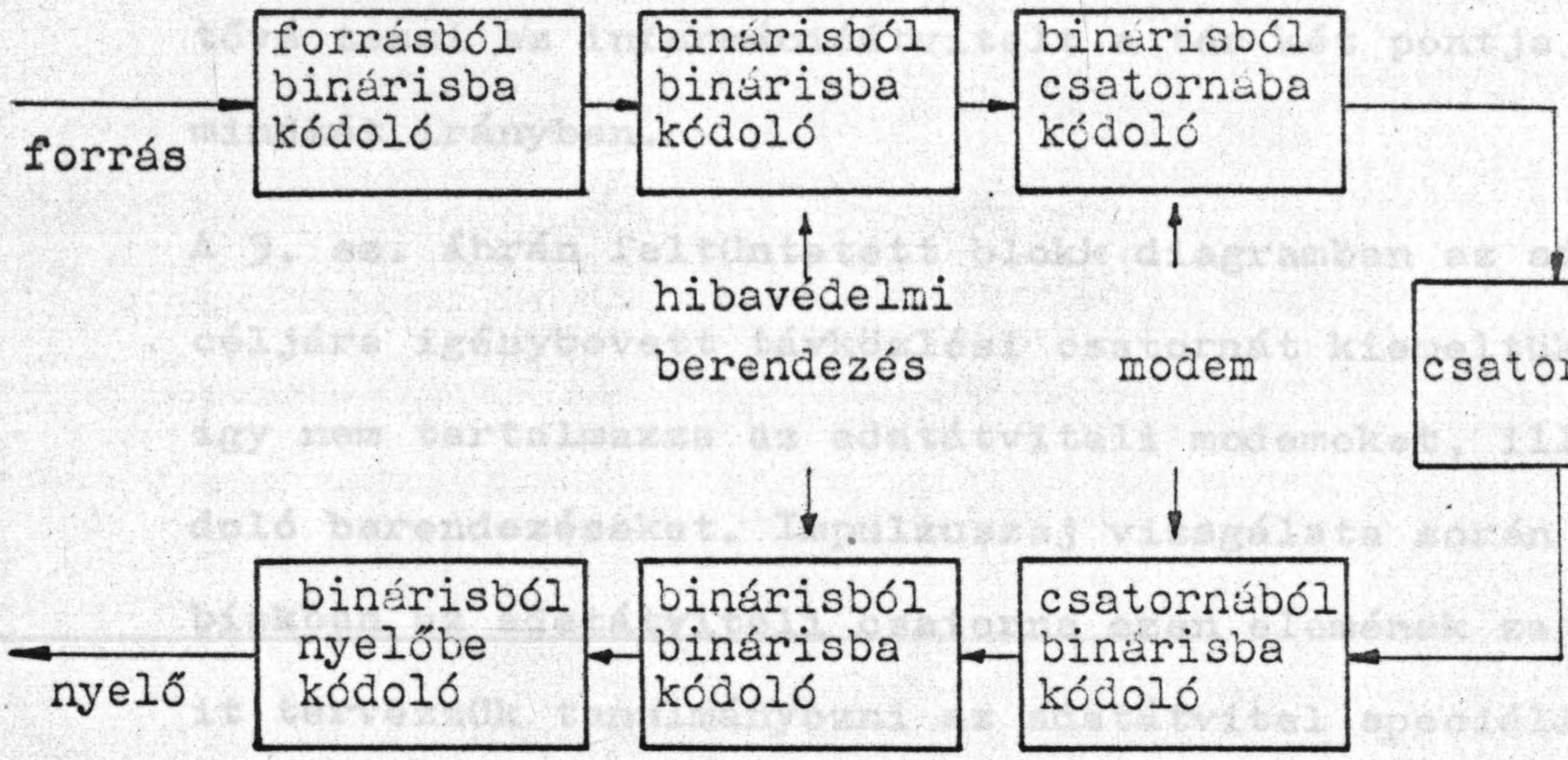
$$C' = \frac{C}{t} \quad \left[\text{bit/sec}\right] , \quad \text{ahol} \qquad /2.4/$$

t; az elemijel hossza /sec/.

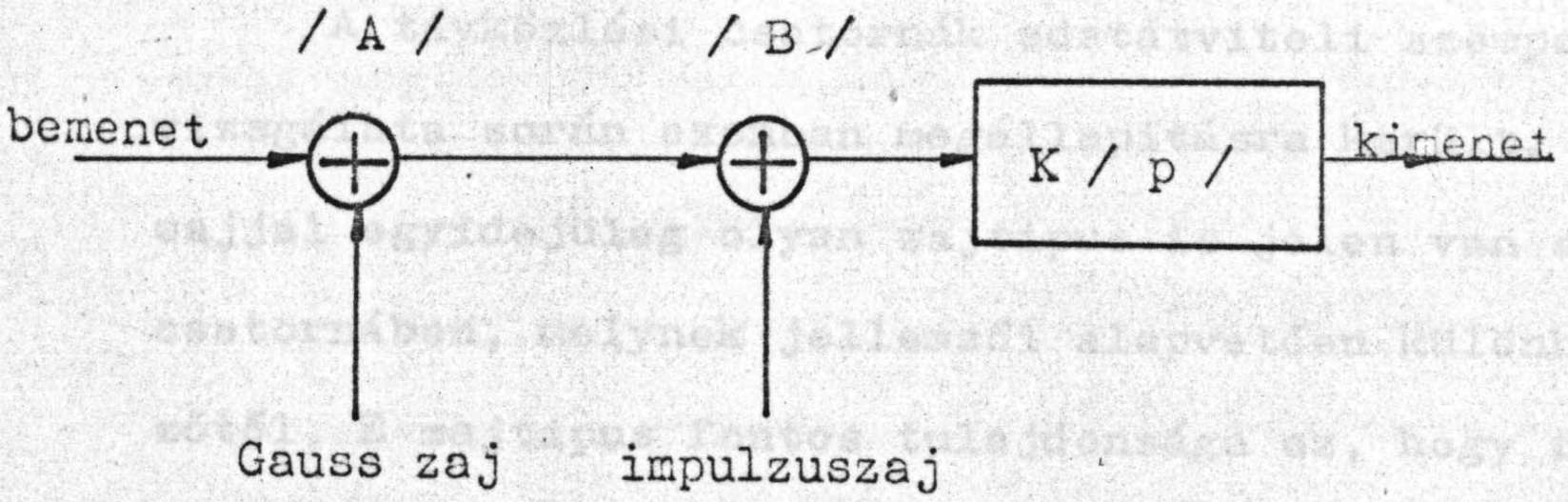
Az általános hirközlési modellben a kódoló végzi az illesztést egyrészt a forrás és a csatorna között, másrészt kódolással biztositja a megbizható átvitelt a zajos csatornán. A gyakorlatban fenti két feladatot külön oldjuk meg. A zajos csatornán történő átvitelhez szükséges kódolás a hibakorlátozó kódolás.

A hibakorlátozó kódoló és a távközlő csatorna között egy - a vonal speciális igényeinek megfelelő - vonali kódolást is alkalmazunk. Ez a müvelet - hangfrekvenciás távközlő csatorna alkalmazása esetén -a moduláció illetve demoduláció. Modulátort és demodulátort is tartalmazó berendezés a modem. Ezek figyelembevételével adatátviteli összeköttetésünk felépitése a 2. sz. ábrán látható.

Az adatátviteli csatorna mindazon eszközök összességét tartalmazza, melyek egyirányú jeltovábbitáshoz szükségesek. Ugyanazon eszközöket több csatorna is használhatja, mint pl. vivőfrekvenciás rendszerek esetében, de akkor minden csatorna külön részére kijelölt frekvenciasávot foglal el. A csatorna tehát átviteltechnikai berendezésekből és átviteli útból /útakból/ áll.



2.sz. ábra



3. sz. ábra

Két ellentétes irányú csatorna áramkört alkot, mely lehetővé teszi az információátvitelt a tér két pontja között, mindkét irányban.

A 3. sz. ábrán feltüntetett blokk diagramban az adatátvitel céljára igénybevett távközlési csatornát kiemeltük; mely igy nem tartalmazza az adatátviteli modemeket, illetve kódoló berendezéseket. Impulzuszaj vizsgálata során a továbbiakban az adatátviteli csatorna ezen elemének zajviszonyait tervezzük tanulmányozni az adatátvitel speciális igényének figyelembe vételével. Az adatátviteli áramkörnek ezt az elemét: adatátviteli távközlő csatornának nevezzük, mely magába foglalja az átviteltechnikai berendezéseket és kapcsoló központokat is.

A különböző csatorna modellek és elméleti vizsgálatok elsősorban a legnagyobb jelentőségü és matematikailag viszonylag egyszerüen kezelhető Gauss zaj jelenlétét tételezték fel.

A távközlési csatornák adatátviteli szempontból történő vizsgálata során azonban megállapitásra került, hogy a Gauss zajjal egyidejüleg olyan zajtipus is jelen van a távközlési csatornában, melynek jellemzői alapvetően különböznek az előzőtől. E zajtipus fontos tulajdonsága az, hogy feszültsége, illetve energiája - az elemijelhez képest - rövid időtartamra

rövid időtartamú csomókban koncentrálódik. A pillanatnyi amplitudó értékek az egyidejüleg jelenlévő gaussi folyamat amplitudóihoz képest, nagyságrenddel nagyobbak. Ezt az "új" zajtipust impulzuszajnak nevezzük. A zajfolyamat egyes komponenseit az idő tartományban a továbbiakban zajimpulzusoknak tekintjük.

Vizsgált vezetékes adatátviteli távközlő csatorna modellünk - impulzuszaj jelenlétét figyelembe véve-a 3. sz. ábrán látható.

A csatornát K/p/ invariáns transzferfüggvénnyel jellemezzük. A zajmentes csatorna kimenetéhez Gauss, valamint impulzuszajt előállitó két additiv zajforrás csatlakozik. A csatornában keletkező additiv tulajdonságú zaj időfüggvények sokaságaként irható le, melyek a csatorna kimenetén összeadódnak. A zajforrás additivitása alatt azt értjük, hogy a csatorna kimenetén akkor is jelen vannak a zavartatásból származó nem kivánt jelek, amikor a csatorna nincs terhelve.

A két forrást önálló, egymástól független zajforrásnak tekintjük. Mindkét zajforrás által előállitott zajkomponensek egymástól független fizikai hatások következtében keletkeznek. Az impulzuszajt generáló forrás csak rövid időtartamokra, rövid időtartamú csomókba generálja a zavaró jelet. Az impulzuszaj forrás - a gaussi folyamatból származó zajfeszültség effektiv értékéhez képest - igen nagy amplitudójú zavaró jeleket kelt.

Modellünkben a két zaj külön-külön hat, mert az impulzuszaj pillanatnyi amplitudója lényegesen nagyobb, mint azt a zajfeszültség effektiv értékétől - adott valószinüséggel - várnánk. A csatorna transzferfüggvényének alkalmas megválasztásával az eredő zajfeszültség valószinüsége befolyásolható ugy, hogy az konvergál a normális eloszlás valószinüségi eloszlásfüggvényéhez.

2.2 Adatátviteli összeköttetés minőségi jellemzői

Egy adatátviteli rendszer vevőjének olyan döntéseket kell hozni, melyek az átvitt bináris jelek sorozatával egyeznek meg. A vevő által elkövetett döntési hibák az adott és a vett jelsorozatok összehasonlitásával fedezhetők fel.

Egy korszerü adatátviteli rendszer - müködési idejének legnagyobb részében - a hibaküszöb alatt müködik. A hibaküszöb alatti müködés jellemzésére a távirótorzitás szolgál. A távirótorzitás nagysága, statisztikus jellemzői és a detektálási módszer együttesen határozzák meg az adatátviteli hibaarányt. Az adatátviteli hibaarány és a távirótorzitás közötti egzakt kapcsolatot leiró összefüggések jelenleg nem ismeretesek, ezért a lehető legkisebb hibavalószinüségü detektálás érdekében a távirótorzitás értékére külön nemzetközi előirások szolgálnak.

Hibaarány

Adatátviteli összeköttetésünk minőségét elsősorban a hibavalószinüséggel, illetve a hibaaránnyal jellemezhetjük.

q hibavalószinüség h_a empirikus hibaaránynak a várható értéke;

$$q = M\,/h_a/ \qquad /2.5/$$

Ha a rendszeren átvitt N jel közül n számút találunk hibásnak, akkor a hibaarány az alábbi összefüggéssel adható meg:

$$h_a = \frac{n}{N} \qquad /2.6/$$

a hibavalószinüség:

$$q = \lim_{N\to\infty} h_a = \lim_{N\to\infty} \frac{n}{N} \qquad /2.7/$$

Az adatátviteli összeköttetésen átvitt jel; bit, karakter, blokk, vagy üzenet lehet. Ennek megfelelően; bit, karakter, blokk, üzenet hibaarányról beszélünk.

Távirótorzitás

Jelen disszertációban elsődleges feladatunk az adatátviteli távközlő csatornában előálló eredő zajfolyamat, illetve az

impulzuszaj - és annak adatátviteli csatornára gyakorolt - hatásának vizsgálata. E cél elérése érdekében a 4. fejezetben kisérletet teszünk annak megválaszolására, hogy ha az adatátviteli távközlő csatornában jelenlévő - és matematikailag ismert - eredő zajfolyamat nem irható le normális eloszlásfüggvénnyel, akkor hogyan változik az adatátviteli csatorna véletlen távirótorzitásának eloszlás, illetve sürüségfüggvénye.

Az adatátviteli csatornán átvitt bináris jelek időtartamai, ill. jellemző időpontjainak egymáshoz viszonyitott helyzetei az átvitel során megváltozhatnak. Ebben az esetben az adatátviteli csatorna kimenetén megjelenő jeleknek távirótorzitása van.

Az átvitt bináris adatjelek távirótorzitása az idő függvényében szisztematikus vagy véletlenszerü lehet. Mindkét távirótorzitás csoporton belül számos torzitásfajta ismeretes. Az adatátviteli csatorna szisztematikus táviró torzitásait a rendszer aszimetriája, berezgési jelenségei, illetve torzitásai határozzák meg.

A véletlen távirótorzitás okozói; az adatátviteli távközlő csatornában keletkező sztochasztikus zavarok, illetve zajok.

A véletlen távirótorzitás vizsgálata alkalmával csak az adatátviteli távközlő csatornában jelenlévő véletlenszerü zajforrások - távirótorzitásra gyakorolt - hatását vizsgáljuk. Továbbiakban a véletlen távirótorzitás matematikai leirásának lehetőségét tekintjük át, és a távirótorzitás fogalma alatt a véletlen távirótorzitást értjük.

Ha az adatátviteli távközlő csatornában csak Gauss zaj van jelen, akkor jogosnak látszik feltételezni, azt hogy az véletlen távirótorzitás normális eloszlású.
Ezt a feltételezést számos méréssel bizonyitották.
Emiatt a véletlen távirótorzitás valószinüségi sürüségfüggvénye:

$$f/x/ = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{/x - \bar{\varepsilon}/^2}{2\cdot\sigma^2}} \qquad /2.8/$$

Fenti összefüggésben $\bar{\varepsilon}$ a távirótorzitás várható értéke.
A gyakorlatban $\bar{\varepsilon} = 0$.

σ az eloszlás szórása és értéke a jel/zaj viszonytól függ.

A valószinüségi eloszlásfüggvény:

$$F/x/ = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} dt. \qquad /2.12/$$

Jelöljük a konvencionális /megállapodásos/ távirótorzitás fokát ε_k-val. Konvencionális torzitás fokának: azt az egyéni-torzitás értéket tekintjük, melynek túllépési valószinüsége 10^{-5}, azaz:

$$P/|\varepsilon| > \varepsilon_k/ = 10^{-5} \quad . \qquad /2.9/$$

Az egyéni távirótorzitás nagysága tehát időben viszonylag rövid időintervallumokban - legfeljebb bitenként - változhat.

Felhasználva, a konvencionális torzitás fokának fenti definicióját, valamint feltételezve azt, hogy a torzitás-eloszlás nulla várható értékü normális eloszlás,

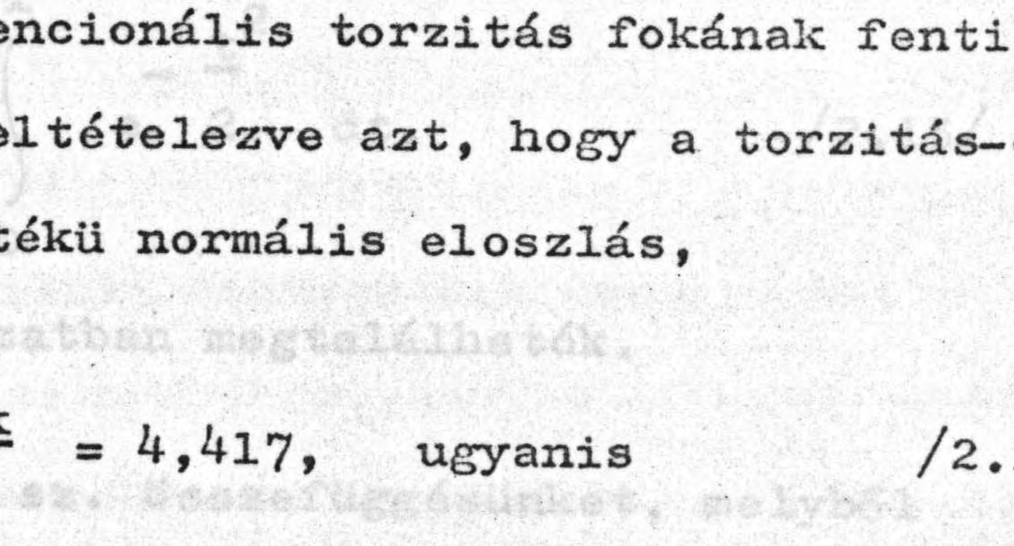
$$\frac{\varepsilon_k}{\sigma} = 4{,}417, \quad \text{ugyanis} \qquad /2.10/$$

$$P/|\varepsilon| > \varepsilon_k/ = 10^{-5}, \text{ és} \qquad /2.11/$$

ekkor igaznak kell lenni az alábbi összefüggésnek:

/L: a 4. sz. ábrát!/

4.sz.ábra



$$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\left[\int_{-\infty}^{-\varepsilon_k} e^{-\frac{\varepsilon^2}{2\cdot\sigma^2}}\,d\varepsilon + \int_{\varepsilon_k}^{\infty} e^{-\frac{\varepsilon^2}{2\sigma^2}}\,d\varepsilon\right] = 10^{-5} . \qquad /2.12/$$

A 4. sz. ábrán feltüntetett $2.T_1$ terület nagysága 10^{-5}. Figyelembe vettük, hogy a véletlen távirótorzitás várható értéke $\bar{\varepsilon} = 0$, és a sürüségfüggvény alatti terület 1.

Vezessük be az alábbi uj változót:

$$\frac{\varepsilon}{\sigma} = z . \qquad /2.13/$$

Ezzel a 2.12 sz. kifejezés az alábbi alakba irható:

$$1 - \Phi\left(\frac{\varepsilon_k}{\sigma}\right) = 10^{-5} , \quad \text{ahol} \qquad /2.14/$$

$$\Phi/z/ = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{t^2}{2}}\,dt. \qquad /2.15/$$

$\Phi/z/$ értékei táblázatban megtalálhatók.

Tekintsük most a 2.14 sz. összefüggésünket, melyből

$$1 - \Phi\left(\frac{\varepsilon_i}{\sigma}\right) = p_{\varepsilon_i} , \text{ amiből} \qquad /2.16/$$

$$1 - p_{\varepsilon_i} = \Phi\left(\frac{\varepsilon_i}{\sigma}\right) \qquad /2.17/$$

p_{ε_i}, az ε_i torzitásküszöb túllépési relativ gyakorisága, mely esetünkben a pozitiv és a negativ torzitás értékekre vonatkozó túllépési relativ gyakoriságok összegét /a távirótorzitás abszolut értéke tullépésének relativ gyakoriságát/ jelenti.

2.3 Valóságos adatátviteli csatorna modellje

Ha adatátviteli összeköttetésünk - melyet BSC-nek tekintünk - kimenetén megjelenő demodulációs hibák egymástól független, véletlen események, akkor a BSC-t memóriamentesnek mondjuk. Memóriamentes BSC, illetve adatátviteli csatorna esetében annak valószinüsége, hogy éppen n számú hiba keletkezik egy m hosszuságú blokkban, a binomiális eloszlásból adódik. Ebben az esetben:

$$P/n, m/ = \begin{pmatrix} n \\ m \end{pmatrix} \cdot p^n \cdot q^{m-1} \qquad /2.18/$$

A valóságos adatátviteli csatornában fellépő hibák vizsgálatakor bizonyitást nyert az, hogy a rendszer kimenetén megjelenő hibák egymástól nem függetlenek, hanem bizonyos statisztikai függőséget mutatnak. Ezeket a csatornákat memóriás csatornáknak tekintjük. A meóriás csatornák véges,

illetve végtelen memóriával jellemezhetők. Adatátviteli BSC-nk véges memóriájú, tehát a hibavalószinüség függ a vett jelet megelőző véges "emlékezési" időben továbbitott jelek sorozatától.

Ahhoz, hogy egy adatátviteli rendszerhez a legjobban illeszkedő hibavédelmi kódot megtervezhessük és hibajelző, vagy hibajavitó képességüket értékelhessük, szükség van a valóságos távközlési csatornában megfigyelt hibák részletes statisztikájára, vagypedig a csatorna egy olyan matematikai modelljére, melyből nyert statisztikai adatok jól közelitik a valóságos távközlési csatorna jellemzőit. A hibastatisztika mérés útján történő meghatározása során az alábbi paramétereket képezzük:

- blokkhibaarány; adott blokkhossz esetén,
- hibás blokkokon belüli hibás bitek száma,
- a hibacsomó hossza /csomónak tekintjük a hibák olyan együttesét, melyet legalább 10 vagy több hibamentes elem követ/,
- hibacsomók eloszlása, illetve strukturája,
- átlagos elemijel hibaarány.

A viszonylag egyszerü memóriamentes BSC modell a valóságos távközlési csatornát, /melyet véges memóriáju BSC-nek tekintünk /nagy hibával irja le, igy vizsgált adatátviteli csatornánk jellemzésére nem alkalmas.

Ezért összetettebb csatorna modellek kerültek kidolgozásra, melyek jó közelitését adják a valóságos adatátviteli csatornák müködésének.

A valóságos adatátviteli csatorna jellemzésére kidolgozott számos modell közül legismertebb a Gilbert modell [3.] , mely a csatornát több BSC-ből felépitve vizgálja. A Gilbert modell egyik módositása is megtartja Gilbert alapgondolatát, miszerint a valóságos csatornát kevésszámú különböző csatornából épiti fel, de ezek a csatornák már nem BSC-k, hanem un. megujulási folyamatra /renewall-process/ jellemző csatornák. Ilyen csatornában a hibaközi intervallumok hosszai független valószinüségi változók, melyek eloszlására jól alkalmazható a Paretó eloszlás [4.].

3. Impulzuszajjal kapcsolatos eddigi kutatások ismertetése

Vizsgált folyamatunkról feltesszük, hogy stacionárius sztochasztikus folyamat, igy a körülményeket változatlanoknak tekintjük, és a folyamat ingadozásai véletlenszerüek.
Sztochasztikus folyamatok leirására az alábbi statisztikai függvények szolgálnak:

- négyzetes középérték,
- valószinüségi eloszlás és sürüségfüggvény,
- autókorrelációfüggvény,
- teljesitménysürüség spektrum függvény.

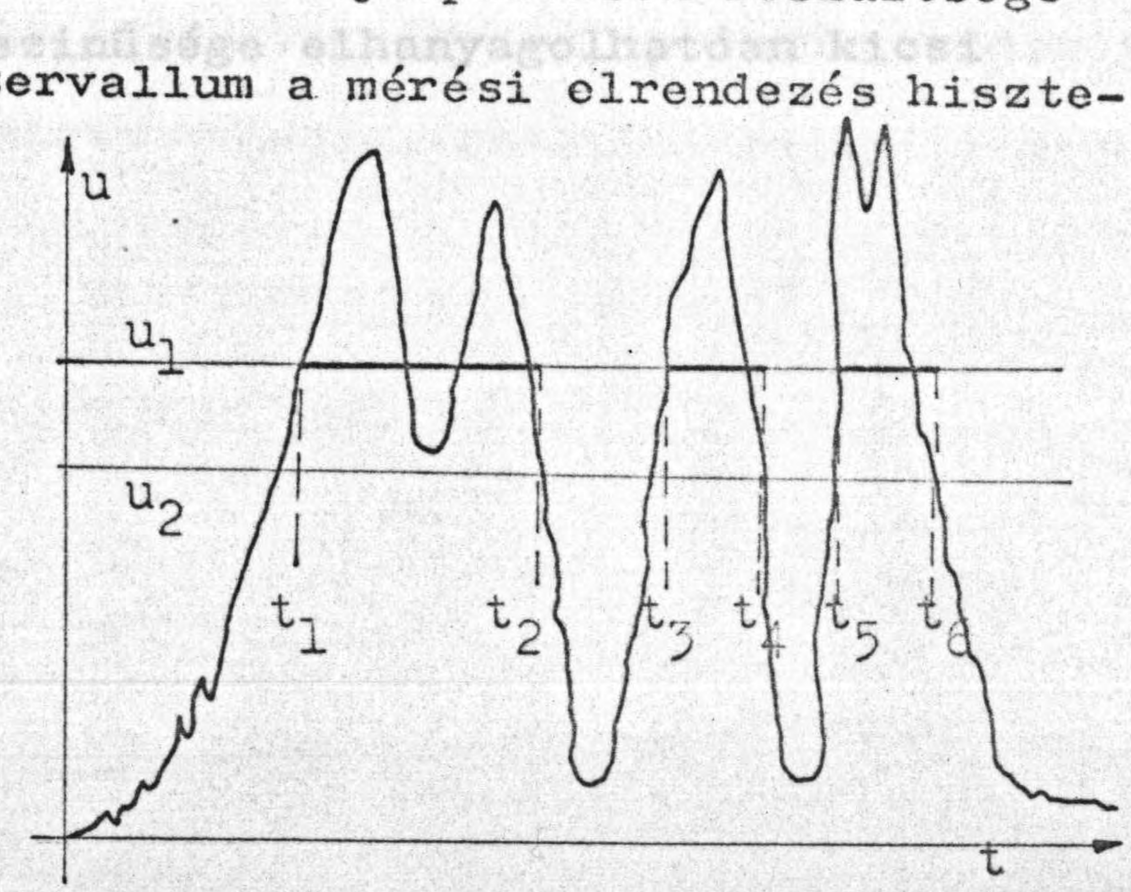
3.1 Impulzuszaj formális definiciója

Az impulzuszaj empirikus analizishez, annak formális definiciójára van szükségünk. Az 5. sz. ábrán feltüntetett definiciós eljárást elsőizben Kaenel R. A. és társai javasolták 1966-ban [5.]. A CCITT által kidolgozott - és nemzetközi ajánlásként elfogadott - mérési eljárás tulajdonképpen a fentemlitett értelmezést alkalmazza.

Tekintsük az 5. sz. ábrát, melyen feltüntetett időfüggvény az adatátviteli távközlő csatornában jelenlévő összeg zajfolyamat /Gauss, impulzus/ feszültségének időbeli lefolyását mutatja. Az időfüggvényt ideális egyenirányitó kimenetén nyerjük. u_1 jelü küszöbszintnél alacsonyabb zajfeszültséget Gauss zajból származónak tekintjük.

Azokat a zaj komponenseket, melyek amplitudója eléri, vagy meghaladja u_1 küszöbszintet - impulzuszaj folyamatból származó- zaj impulzusoknak tekintjük. A zajimpulzusok időtartamai: t_1-t_2, t_3-t_4, t_5-t_6 időpontok közötti időintervallumok. t_2, t_4, t_6 időpontokban a zajimpulzusok feszültsége u_2. u_1-u_2 feszültség intervallum a mérési elrendezés hiszterézise.

5.sz. ábra



u_1 komparálási szint megválasztásánál követelmény az, hogy a megválasztott küszöbszinten, a Gauss zajfolyamatból származó feszültség amplitudók előfordulási valószinüsége - a gyakorlat szempontjából - közelitően nulla legyen. u_1 szint megválasztásánál fenn kell állni az alábbi egyenlőtlenségnek:

$$p/u_{Gauss} \geq u_1/ \ll p/u_{imp} \geq u_1/, \text{ ahol} \qquad /3.1/$$

$p/u_{Gauss} \geq u_1/$ az u_1 szintet elérő, vagy meghaladó és Gauss zajból származó feszültség-amplitudó megjelenésének valószinüségét jelöli.

$p/u_{imp} \geq u_1/$ az u_1 komparálási szintet elérő, vagy azt meghaladó amplitudójú zajimpulzusok valószinüségét jelöli.

Fenti egyenlőtlenség biztositása céljából a gyakorlatban, impulzuszaj mérés előtt meghatározzuk a normális zajfolyamat feszültségének effektiv értékét.

Ezután ennél 20 dB-el magasabb feszültségen választjuk meg az impulzuszaj mérés során alkalmazni kivánt komparálási szintet, mivel ezen szinten a Gauss zajból származó komponens előfordulási valószinüsége elhanyagolhatóan kicsi /kb. 10^{-10}/.

t_1, t_3, t_5 időpontokban megjelenő zajimpulzusok számlálása - a gyakorlatban kivitelezett impulzuszaj számláló berendezésekben - un. számlálási holtidővel történik. Számlálási holtidő, definició szerint [6.] az az időtartam, melyen túl a mérőberendezés ujabb zajimpulzust biztosan képes fogadni.

Impulzuszaj számláló berendezéssel a mérés során un. számlált zajimpulzusokat nyerünk. A számlált zajimpulzusok dbszáma - a mérőberendezésben alkalmazott számlálási holtidő miatt - kisebb vagy egyenlő a tényleges zajimpulzusok számánál. A zajimpulzusok és a számlált zajimpulzusok száma közötti különbség az impulzuszaj folyamat csomósodási jellemzőinek függvénye.

Fontos annak ismerete is, hogy rögzitett küszöbszinten - egységnyi időtartam alatt - milyen valószinüségi eloszlással jellemezhető a számlált zajimpulzusok száma.

Impulzuszaj folyamat jellemzésére egyes esetekben [7.] megadjuk a számlált zajimpulzusok szinteloszlását is. Számlált zajimpulzusok szinteloszlása alatt azon küszöbszintek valószinüségi eloszlását értjük, melyeknél a mérőberendezés - egységnyi időtartam alatt - azonos db-számú számlált zajimpulzust regisztrál.

Impulzuszaj adatátviteli hibaarányra gyakorolt hatásának vizsgálata során az alábbi főbb statisztikus jellemzők meghatározásának szükségessége merül fel;

- impulzuszaj, illetve az eredő zajfolyamat pillanatnyi amplitudójának eloszlása,
- zajimpulzusok időtartamának eloszlása,
- zajimpulzusok közötti intervallumok /zajmentes időtartamok/ valószinüségi eloszlása,
- zajimpulzus csomók eloszlása,
- feltételes valószinüsége annak, hogy egy érzékelt zajimpulzus után-t időintervallumon belül - második, harmadik, stb. zajimpulzust észlelünk.
- számlált zajimpulzusok számának eloszlása rögzitett küszöbszint mellett,
- számlált zajimpulzusok számának eloszlása a küszöbszint függvényében,
- számlált zajimpulzusok szinteloszlása.

A következőkben áttekintjük - a rendelkezésre álló irodalom alapján - a fent felsorolt egyes jellemzők vizsgálatára vonatkozó legfontosabbnak vélt adatokat, valamint az impulzuszaj leirására alkalmazott legismertebb modelleket.

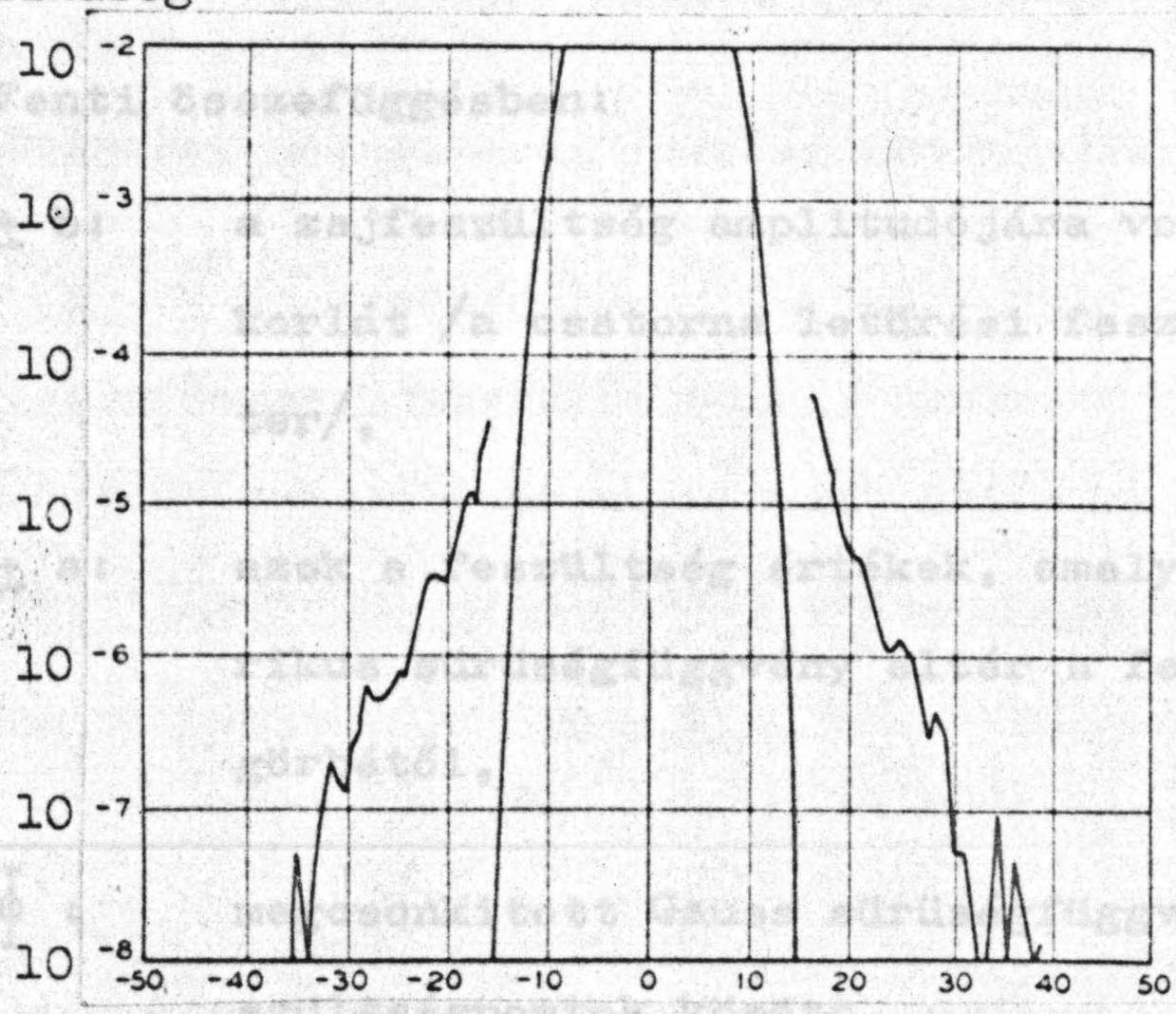
3.2 Impulzuszaj mérések eredményei, impulzuszaj modellek

3.2.1 J.H. Fennick által kidolgozott impulzuszaj modell

Az impulzuszaj tulajdonságait tanulmányozó kutatók közül egyik legismertebb J.H. Fennick a Bell Laboratórium munkatársa. Számos impulzuszajjal foglalkozó cikke jelent meg.

Fennick az alábbiakban ismertetésre kerülő impulzuszaj mérések eredményeit, valamint az impulzuszaj leirására kidolgozott modellt 1969 decemberében ismertette. [7.]

Mikrohullámú, kábeles és koaxiális rendszereken üzemelő távbeszélő áramkörök impulzuszaj viszonyait vizsgálta. Az eredő zajfolyamat feszültsége valószinüségi sürüségfüggvényének vizsgálata során, arra a következtetésre jutott, hogy az nem követi a Gauss-görbét. Kábeles vivőáramú helyközi áramkörön végzett amplitudó sürüségfüggvény mérések eredménye a 6. sz. ábrán látható. Az abszcisszán a zajfeszültség effektiv értéke és az amplitudó logaritmikus viszonya van feltüntetve, mig az ordinátán az előfordulási valószinüség.



6. sz. ábra

Feltételezve azt, hogy a vizsgált zajfolyamat stacionárius, az amplitudó valószinüségi sürüségfüggvénye az alábbi alakban adható meg;

$$p/x/ = \begin{cases} 0; & x < -b \\ c.e^{k.x}; & -b \leq x \leq -a \\ \Phi; & -a < x < a \\ c.e^{-k.x}; & a \leq x \leq b \\ 0; & x > b \end{cases} \qquad /3.2/$$

Fenti összefüggésben:

$\pm$ b: a zajfeszültség amplitudójára vonatkozó felső korlát /a csatorna letürési feszültsége, limiter/,

$\pm$ a: azok a feszültség értékek, amelyeknél az empirikus sürüségfüggvény eltér a feltételezett Gauss-görbétől,

Φ : megcsonkitott Gauss sürüségfüggvény a; $\pm$ a, feszültségpontok között,

c, k az exponenciális sürüségfüggvényt leiró paraméterek /mérési eredményekből/,

Fenti értelmezés szerint, az eredő zajfolyamat feszültségének valószinüségi sürüségfüggvénye szakaszosan adható meg. Az amplitudó sürüségfüggvény; $\pm$ a feszültség intervallumban Gauss görbével, mig $\pm$ a, illetve $\pm$ b feszültségek közötti intervallumokban exponenciális eloszlással közelithető. A feltételezett Gauss eloszlástól való eltérés helyét az alábbi összefüggés adja meg:

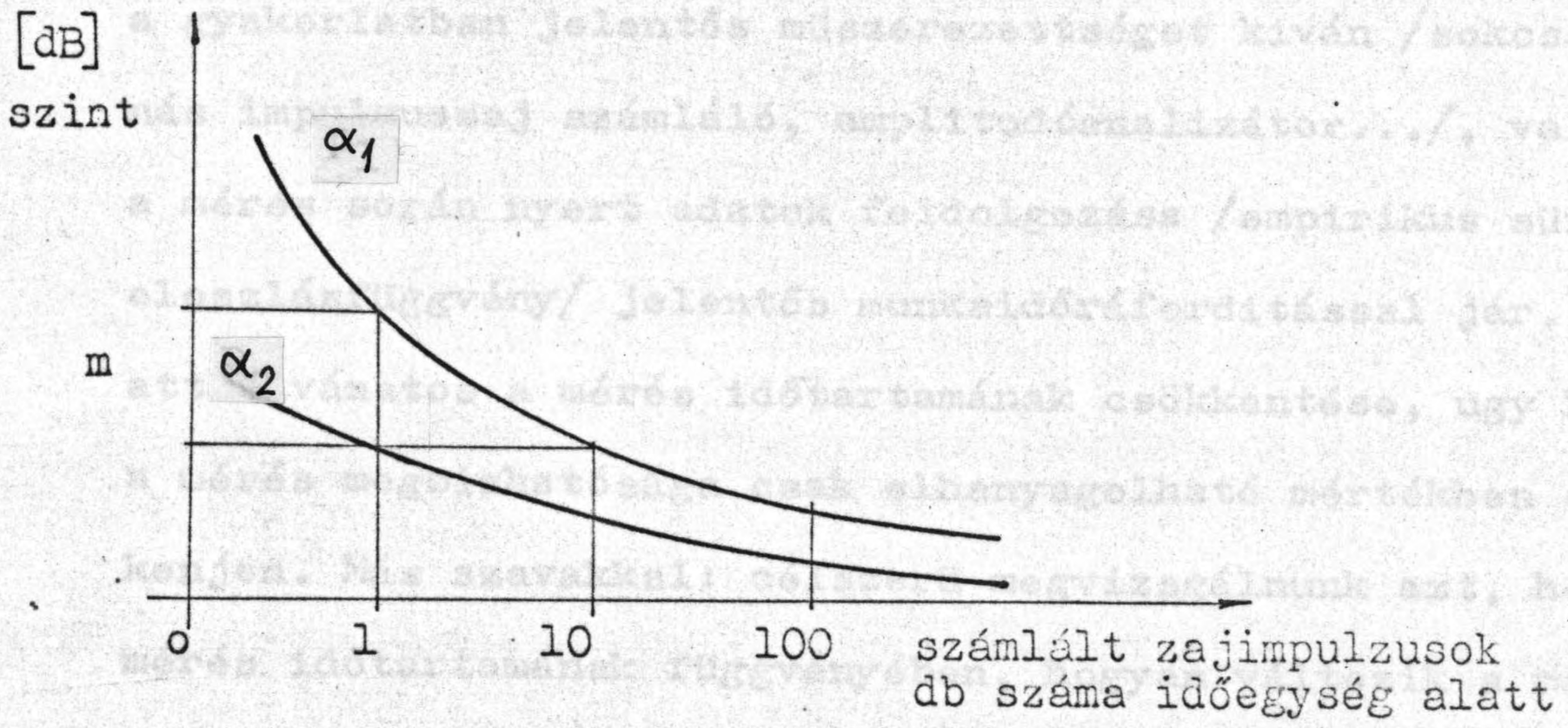
$$a = k \pm \left\{ k^2 - 2.\ln\left(c/2\,\mathfrak{N} \,/\, \tfrac{1}{2} \right) \right\}^{\frac{1}{2}} \qquad /3.3/$$

k és c konstansok az exponenciális amplitudó sürüség-függvény paraméterei /mérési eredményekből/.

Ha ismert a számlált zajimpulzusok száma /C/, tetszőleges ℓ küszöbszintnél, akkor az ℓ' küszöbszinten mért C' számlált zajimpulzusok száma az alábbi empirikus összefüggésből határozható meg:

$$C = C' \cdot e^{\frac{\ell' - \ell}{M.m}}, \quad \text{ahol} \qquad /3.4/$$

$M = /\ln 10/^{-1}$. Az m az amplitudóeloszlás meredekségének negativ reciproka, mely az 1 dekádnyi számláláshoz tartozó szint /dB/ értéket adja meg /7. sz. ábra/.



7. sz. ábra

α az amplitudóeloszlástól függő paraméter.

A Fennick által kidolgozott impulzuszaj modell a számlált zajimpulzusok száma, valamint a számlált zajimpulzusok szinteloszlása közötti valószinüségi viszonyt irja le. A modell kétváltozós valószinüségi eloszlás.

A modell szerint a számlált zajimpulzusok szinteloszlása /konstans számlált zajimpulzus darabszáma, és rögzitett mérési időtartam esetén/ és a számlált zajimpulzusok darabszámának logaritmusa /állandó komparálási szint és mérési időtartam mellett/ normális eloszlást követ.

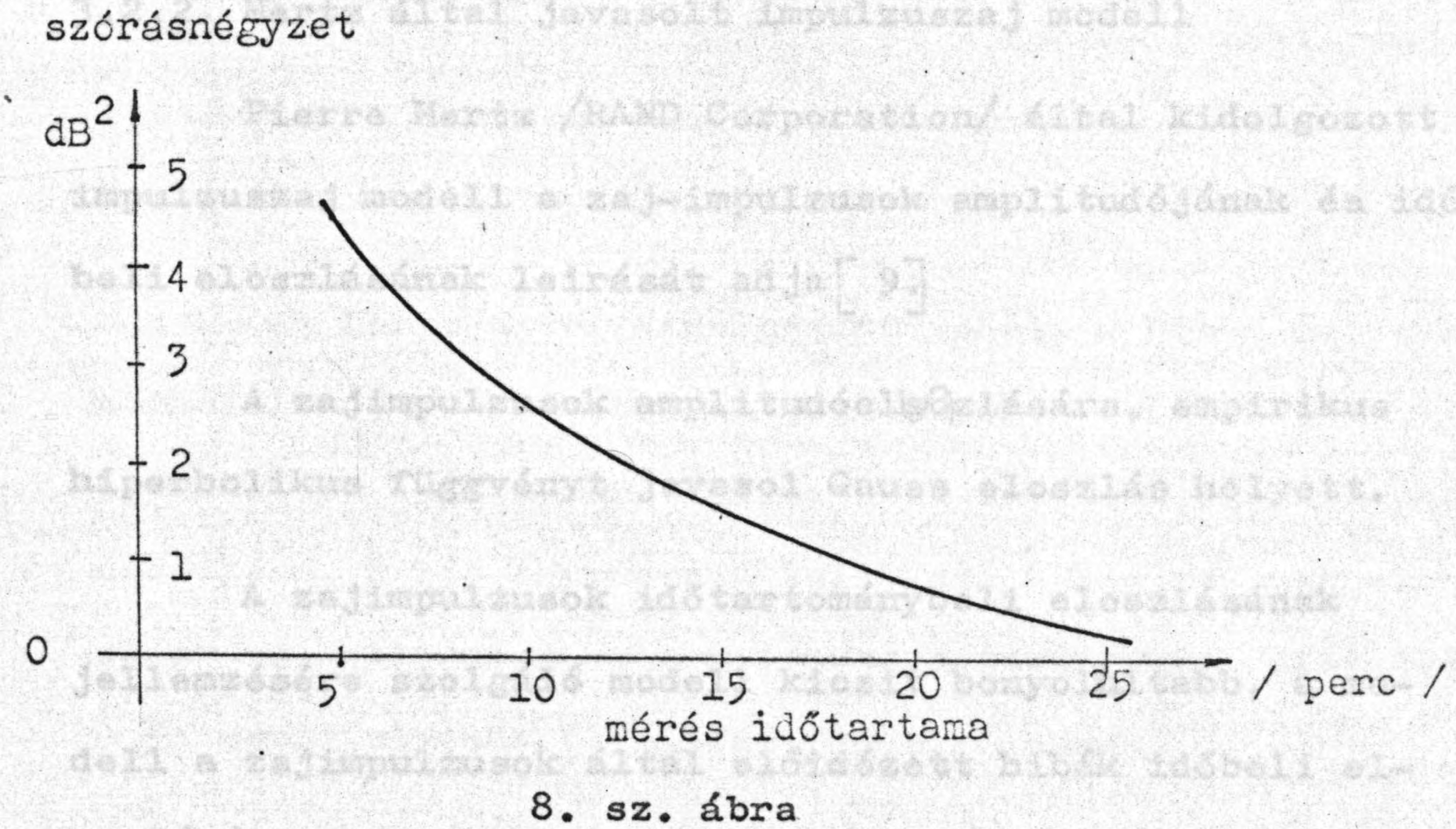
A kidolgozott modell az impulzus^{zaj}megfelelő leirását adja, illetve a leirás megfelel az impulzuszaj-mérő berendezésekkel meghatározható jellemzőknek.

Az impulzuszaj eddig megismert jellemzőinek mérése a gyakorlatban jelentős müszerezettséget kiván /sokcsatornás impulzuszaj számláló, amplitudóanalizátor.../, valamint a mérés során nyert adatok feldolgozása /empirikus sürüségeloszlásfüggvény/ jelentős munkaidőráforditással jár. Emiatt kivánatos a mérés időtartamának csökkentése, ugy hogy a mérés megbizhatósága csak elhanyagolható mértékben csökkenjen. Más szavakkal: célszerü megvizsgálnunk azt, hogy a mérés időtartamának függvényében, hogyan változik a mérés során elkövetett hiba nagysága. Az 1950-es években a mérések időtartama 60 perc, az 1960-as években 30 perc volt.

Lehet-e tovább csökkenteni a mérések hosszát?

A kérdés megválaszolására méréseket végeztek [8.] .

A mérési sorozat célja annak megválaszolása volt, hogy a 30 perces mérési időtartamhoz viszonyitva, hogyan változik a mérés megbizhatósága, a mérés időtartamának /5-25 perc/ függvényében. A számlált zajimpulzus-szint eloszlásának szórásnégyzete 5 perces mérési időtartam esetén 4,8 mig 25 perc esetén 0,2 dB értékre adódott, a 30 perces mérési időtartam esetén várható számlált zajimpulzus-szint szórásnégyzetéhez képest. A várható zajimpulzus-szint szórásnégyzetének mérési időtartamtól függő változását - a 30 perces mérési időtartamhoz viszonyitva - a 8. sz. ábrán tüntettük fel.



8. sz. ábra

Tekintettel arra, hogy a számlált zajimpulzusok szint-eloszlása normális eloszlást követ, a várható hiba nagysága meghatározható /a 8. sz. ábra adatai alapján/, a mérési időtartam változása estén. 5 perc időtartamú mérés esetén a szórás becsült értéke kb. 2,2 dB. Igy az 5 perces mérések 95%-a, a 30 perc időtartamú mérés ± 3,6 dB-es környezetébe esik. Hasonlóan a 15 perces mérések 95%-a a 30 perc időtartamu mérés ± 2,7dB-es környezetében helyezkednek el. Fenti gondolatmenet és adatok ismeretében - a későbbiekben ismertetésre kerülő - mérések időtartamát 15 perc értékre választottuk - figyelembevéve - a CCITT vonatkozó ajánlását.

3.2.2 Mertz által javasolt impulzuszaj modell

Pierre Mertz /RAND Corporation/ által kidolgozott impulzuszaj modell a zaj-impulzusok amplitudójának és időbeli eloszlásának leirását adja [9.]

A zajimpulzusok amplitudóeloszlására, empirikus hiperbolikus függvényt javasol Gauss eloszlás helyett.

A zajimpulzusok időtartománybeli eloszlásának jellemzésére szolgáló modell kicsit bonyolultabb, a modell a zajimpulzusok által előidézett hibák időbeli eloszlását irja le.

A modellben minden alkalommal hiba jelenik meg, abban az időpontban, amikor a zajimpulzus amplitudója eléri a mérés során alkalmazott küszöbszintet. A modell ezen időpontok időbeli eloszlásának leirását adja. Természetesen a küszöbszint értéke és a küszöbszint értékét tullépő zajimpulzusok által előidézett hiba megjelenésének valószinüsége rendszerenként változik.

A zajimpulzusok, illetve az általuk előidézett hibák az időtartományban csomósodnak. Feltételezzük először azt, hogy a hibacsomók közötti elemi hosszuságu véletlen időtartamok száma Poisson eloszlással irható le. A csomó véletlen megjelenő hibák együttesét tartalmazza - meghatározott időintervallumon belül - és a csomón belüli pontok, illetve a hibák száma - első közelitésben - Poisson eloszlással jellemezhető.

A Mertz által kidolgozott modell a hibák empirikusan meghatározott - csomosodási jellemzőinek leirására szolgál és amelynek értelmében a hibás szón belüli hibák számának eloszlása, a két egymásután keletkező hibás szó megjelenésének valószinüsége és a hibamentes időtartamok eloszlása a Poisson folyamattól eltérő jelleget mutat.

Amplitudóeloszlás

Számos méréssel igazolták, hogy a zajimpulzusok amplitudóeloszlása nem követi a Gauss eloszlás - függvényt. Mertz az amplitudóeloszlás leirására magasabbfokú hiperbolikus függvényt javasol. Ezért, hogy a legkisebb amplitudó /0/ előfordulási valószinüségére véges értéket kapjunk, az abszcissza értékét kis értékü konstanssal kell növelni.

A javasolt sürüségfüggvény kifejezése:

$$f/x/ = \frac{k}{/|x| + h/^m} \quad , \text{ahol} \qquad /3.5/$$

f/x/; az x amplitudó sürüségfüggvénye,

x : a zajimpulzus amplitudója,

k, h, m: konstans,

Az eloszlásfüggvény, mely annak valószinüségét adja, hogy az amplitudó egyenlő, vagy nagyobb, mint x;

$$F/x/ = k \int_x^\infty 1 /(v+h)^m \, dv = k/\left[(m-1)\ (x+h)^{m-1}\right] \quad . \qquad /3.6/$$

A bevezetett h konstans - melynek szerepe az, hogy a sürüség, illetve eloszlásfüggvény értékére 0 amplitudó esetén véges értéket kapjunk - csak kordináta eltolást végez. h értéke, nagy amplitudók esetén, nem befolyásolja

az eloszlásgörbét, valamint az amplitudó és a zajfeszültség effektiv értékének viszonyát /dB/; ha n ismert konstans. Az eloszlásfüggvény n = 3, 4, 5 értékei mellett a 9. sz. ábrán látható. Ordinátára az x amplitudó és a zajfeszültség effektiv értékének logaritmikus viszonyát tüntettük fel, h = 1 helyettesitéssel.

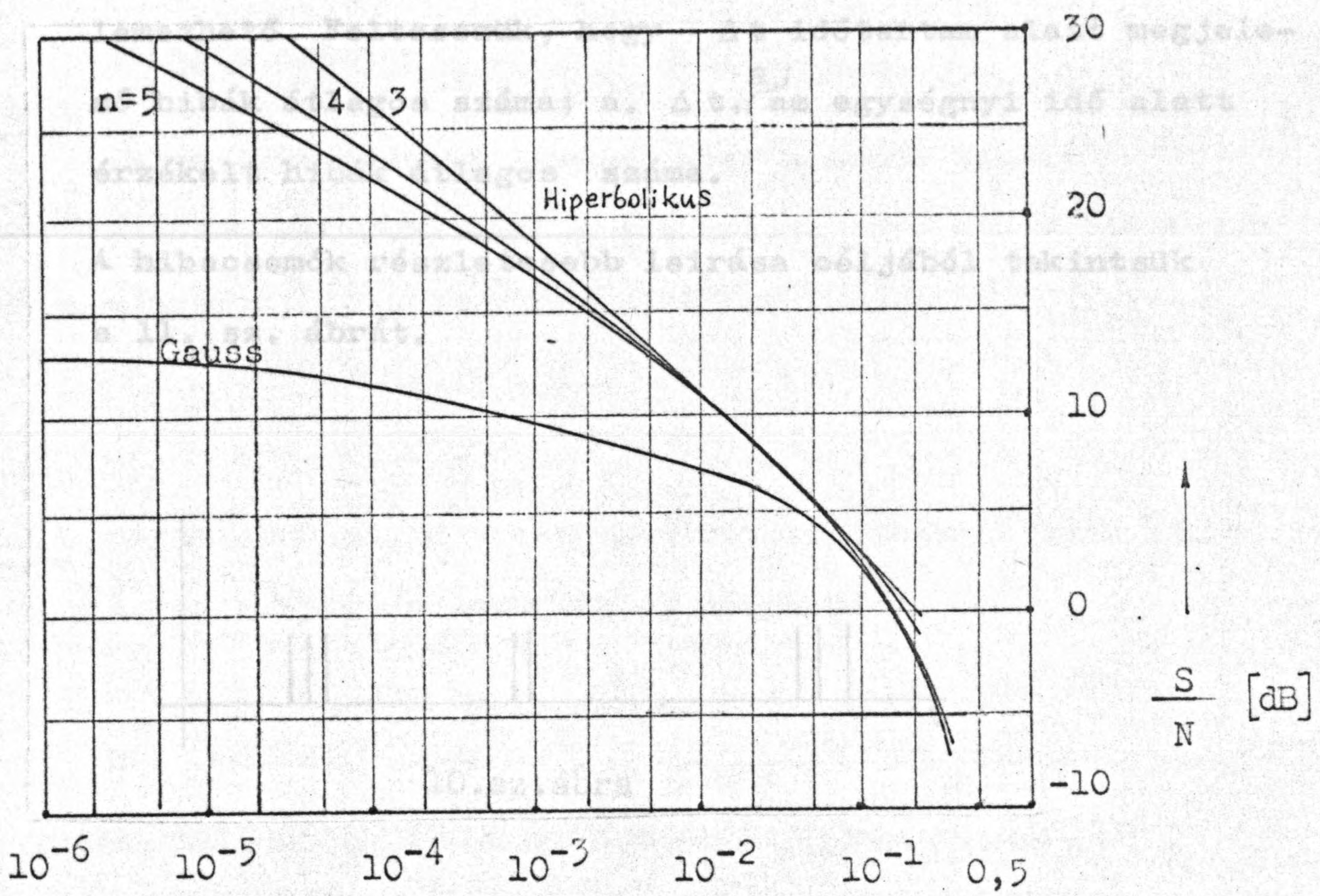
Abszcisszán a tullépés valószinüsége látható: $P\ /x \geq \frac{x}{u_{eff}}\ /$.

Összehasonlitás céljából a Gauss eloszlásfüggvényt is felrajzoltuk az ábrán. Alacsony értékü előfordulási valószinüség esetén a hiperbolikus függvény sokkal nagyobb amplitudót ad, mint a Gauss eloszlásfüggvény.

A hibák csomón belüli eloszlása.

A hibák a gyakorlatban csomósodnak.

A vizsgálat során a mérés időtartamát rövid szakaszokra osztjuk, ugyanis a gyakorlatban az információ továbbitása rendszerint karakterenként, vagy blokkonként történik. Ezen rövid időtartamokat - a továbbiakban - szavaknak nevezzük. A gyakorlatban megfigyelt tény az, hogy az egy szóban előforduló hibák száma nagyobb, mint azt Poisson eloszlástól várnánk. A két egymásután megjelenő hibás szó

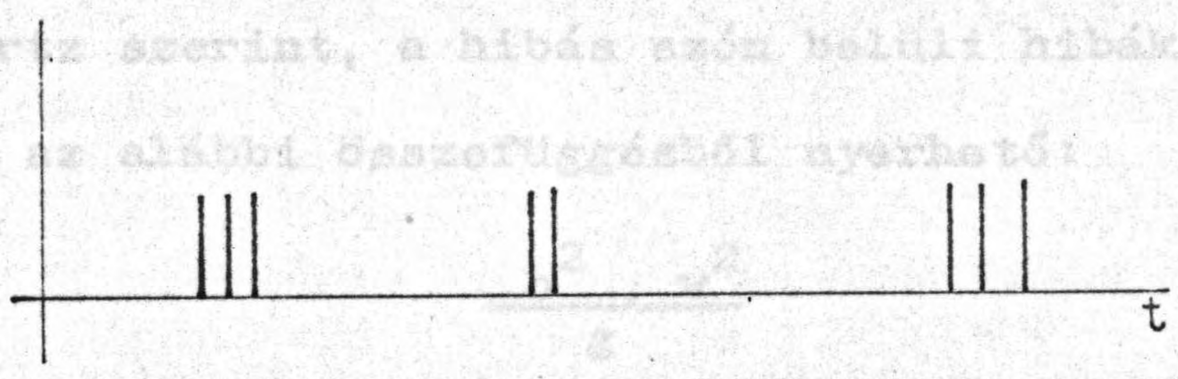

n=5
4
3
Hiperbolikus
Gauss
30
20
10
0
-10
S/N [dB]
10^-6
10^-5
10^-4
10^-3
10^-2
10^-1
0,5
valószinüség

9. sz. ábra

előfordulásának valószinüségére szintén igaz a fenti állitás. Vizsgálatunkhoz tekintsük a 10. sz. ábrát. A hibák megjelenését a függőleges vonalak jelzik.

Davenport és Root szerint [39] a csomók közötti elemi időtartamok számának eloszlása Poisson eloszlással jellemezhető. Feltesszük, hogy Δt időtartam alatt megjelenő hibák átlagos száma; a. Δt. az egységnyi idő alatt érzékelt hibák átlagos száma.

A hibacsomók részletesebb leirása céljából tekintsük a 11. sz. ábrát.

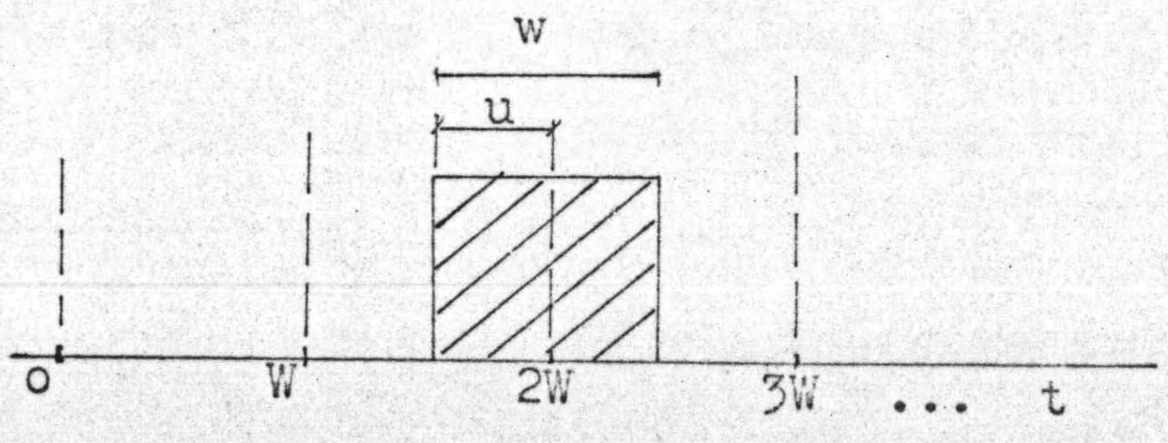


10.sz.ábra

A mérés időtartamát W hosszuságu szakaszokra osztjuk fel /szavak/.

A csomó kezdeti időpontja A, és hossza w. A csomó előtt és után, a hiba megjelenésének valószinüsége nulla; kivéve azt az esetet, amikor ujabb csomó jelenik meg. A

11.sz.ábra



csomó w időtartamán belül - tetszőleges Δt időtartam alatt - átlagosan b. Δt számú hiba jelenik meg. Igy a csomón belül megjelenő hibák átlagos száma b . w.

Δt hosszuságu tetszőleges időtartam alatt megjelenő hibák átlagos száma a . b . w . Δt.

Feltesszük továbbá azt is, hogy a csomó hossza /w/ sohasem nagyobb, mint a szó hossza /W/. A két időtartam viszonya;

$$g = \frac{w}{W} \qquad /3.7/$$

Mertz szerint, a hibás szón belüli hibák átlagos száma; H, az alábbi összefüggésből nyerhető:

$$H = \frac{\frac{b^2 . w^2}{g}}{b.w + \frac{b.w}{g} - 2 + \sqrt{b.w - \frac{b.w}{g} + 2}\ . e^{-b.w}} \qquad /3.8/$$

Két egymás után megjelenő hibás szó előfordulásának gyakorisága, R:

$$R = \frac{b . w \left/1 + e^{-bw}\right/-2/1- e^{-bw}/}{/\frac{b.w}{g} + 2/./1-e^{-bw}/-bw/\ 1+ e^{-bw}/} \qquad /3.9/$$

A hibás szón belüli hibák átlagos száma, valamint a két egymásután megjelenő hibás szó előfordulásának gyakorisága nem alkalmas a csomósodás folyamatának jellemzésére, ugyanis fenti jellemzők valószinüségi eloszlása a gyakorlatban nem követi a Poisson törvényt.

Mertz ezért a hibák, ill. a zajimpulzusok csomósodásának jellemzésére az "közel legrosszabb" müködési időtartam /nearly worst intervals/ bevezetését javasolja, mert ennek változása a hibák csomósodási jellemzőinek függvénye. A hibák csomósodásának leirására kidolgozott modell egyszerüsitéseket tartalmaz, de Mertz szerint - jobb jellemzését adja a folyamatoknak, mint a Poisson eloszlás.

A közel legrosszabb intervallumhoz a következőképpen juthatunk. A vizsgált müködési időtartamot, 1 perces szakaszokra osztjuk. A kapott szakaszokat ugy rendezzük, hogy a sorozat első helyén az az intervallum áll, melynek tarta ma alatt a legtöbb hibacsomó jelent meg. A második, ahol a második legtöbb hibacsomó stb. Fenti elrendezéssel a csomókból rendezett mintát nyerünk. A mintában jelen lévő hibacsomók számának 5 és 15%-ához tartozó egyperces intervalumok közötti időtartamot pl. a "közel legrosszabb tizednek" /Nearly worst decile/ nevezzük. Választhatjuk továbbá a hibacsomók számának 0,5 és 1,5%-ához tartozó időtartamot is. Ekkor a közel legrosszabb századhoz jutunk /nearly worst contile/.

A csomó gyakorisága a "közel legrosszabb" intervallumon belül.

Mertz szerint a csomók gyakorisága a közel legrosszabb intervallumon belül, csak nagy hibával irható le Poisson eloszlással.

Jobb közelitést nyujt az alábbi elsőfoku hiperbolikus függvény;

$$P/c,\ a/ = \frac{k/a/}{c + k/a/} \qquad /3.10/$$

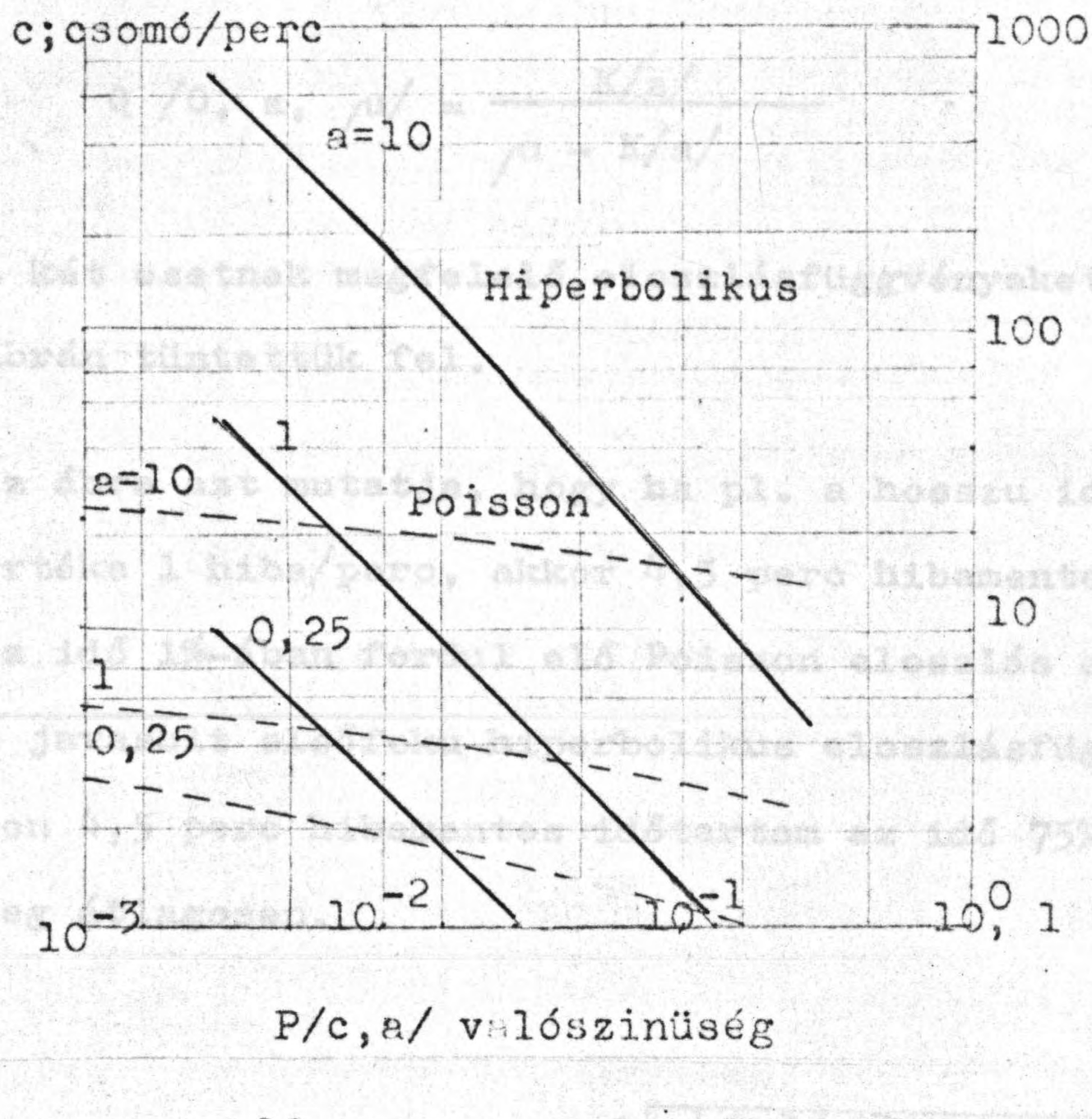
A két esetnek megfelelő P/c, a/ értékeket, az egy perc alatt várható csomók számát /a/- az egy perc alatt megjelenő hibák számának hosszuidejü átlagértékével paraméterezve - a 12. sz. ábrán tüntettük fel.

Hibamentes szakaszok

Ugyancsak érdekes a hosszu hibamentes időtartamok eloszlását vizsgálni.

Ha az egymásután következő csomók közötti elemi hibamentes időtartamok számának valószinüségi eloszlása Poisson, akkor /u hosszuságu szakaszban a hibamentesség valószinüsége a értéku átlagos percenkénti hibagyakoriság esetén

$$Q\ /0,\ a,\ /u/ = e^{-a/u} \quad . \qquad /3.11/$$



12.sz. ábra

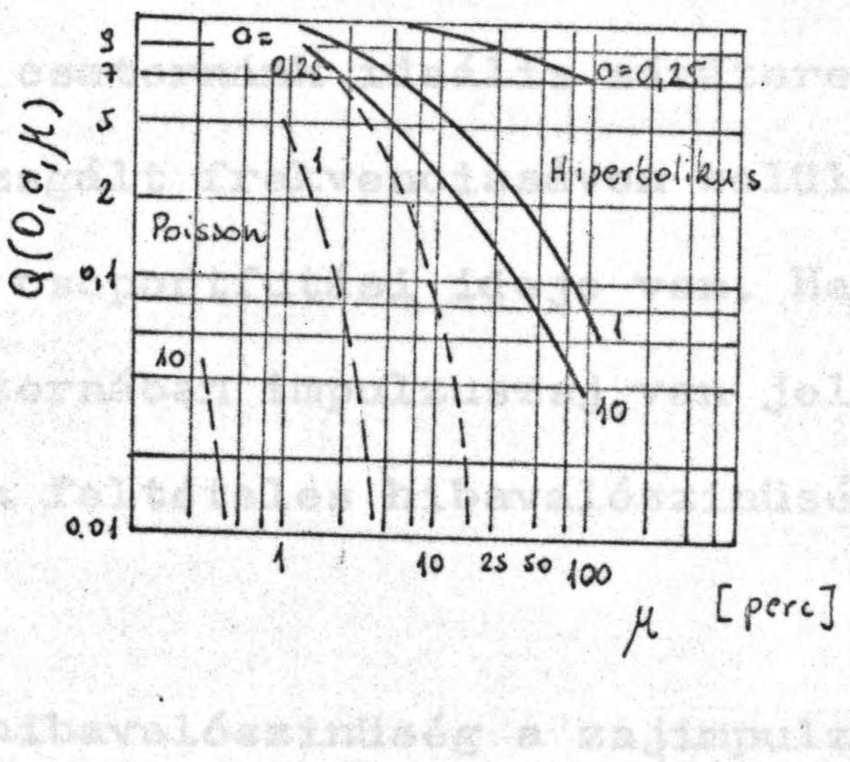
A gyakorlatban azonban a hibamentes elemi szakaszok számának eloszlása szintén eltér a Poisson eloszlástól, illetve adott /u és a értékek esetén a gyakorlatban Q/0, a,/u/ valószinüségre nagyobb értéket kapunk, mint Poisson eloszlástól várnánk. Ezért Mertz a hibamentes szakaszok eloszlásának leirására az alábbi elsőfoku hiperbolikus eloszlásfüggvény alkalmazását javasolja:

$$Q\,/0,\ a,\ \mu/ = \frac{K/a/}{\mu - K/a/} \qquad . \qquad /3.12/$$

A két esetnek megfelelő eloszlásfüggvényeket a13. sz. ábrán tüntettük fel.

Az ábra azt mutatja, hogy ha pl. a hosszu idejü hibaátlag értéke 1 hiba/perc, akkor 4,5 perc hibamentes időtartam az idő 1%-ában fordul elő Poisson eloszlás esetében. A javasolt elsőfoku hiperbolikus eloszlásfüggvény esetében 4,5 perc hibamentes időtartam az idő 75%-ában jelenik meg átlagosan.

13.sz.ábra



3.3 Feltételes hibavalószinüség impulzuszaj jelenlétében

Engel publikációja alapján [10] a következőkben áttekintjük a különböző modulációs eljárások válaszát a jel és az impulzuszaj összegére, ugyanis a demodulátor és az azt követő aluláteresztő-szürő kimenetén megjelenő zaj

a forrása a dekódoló hibás müködésének, illetve a hibák megjelenésének az adatátviteli rendszer kimenetén.

Impulzuszaj jelenlétében a hibavalószinüség elsősorban:

- az zajimpulzusok amplitüdóeloszlás függvényétől,
- az időegység alatt megjelenő zajimpulzusok várható számától,
- az alkalmazott jelszinttől,
- az adatátviteli távközlő csatorna csillapitás és fáziskarakterisztikájától, valamint a
- modulációs eljárás jellemzőitől függ.

Vizsgálataink során először feltételezzük azt, hogy adatátviteli távközlő csatornánk ideális sáváteresztő tulajdonságu, azaz a vizsgált frekvenciasávon belül egységnyi erősitése és konstans csoportfutási ideje van. Ha az adatátviteli távközlő csatornában impulzuszaj van jelen, akkor az átvitel minőségét a feltételes hibavalószinüséggel jellemezhetjük.

A feltételes hibavalószinüség a zajimpulzusonként megjelenő hibás adatbitek átlagos számának várható értékét adja meg, adott jel-zaj viszony esetén.

Minden hibát előidéző zajimpulzus energiája ε_o értéknél nagyobb. Ha az adatjelek spektruma emelt koszinusz jellegü és feltételezzük, hogy a zajimpulzus spektruma a vizsgált frekvenciasávban konstans, akkor a különböző modulációs eljárások esetén a zajimpulzusonként várható hibás bitek átlagos száma, az alábbi összefüggéssel adható meg:

$$N = \left(C \cdot \frac{\varepsilon_o}{\bar{W} \cdot T} \right)^{\alpha}, \text{ ahol} \qquad /3.13/$$

C konstans. $\bar{W}$ az adatjel átlagteljesitménye . C értéke a modulációs rendszertől, a vevőszürő karakterisztikájától és α értékétől függ. α paraméter a zajfolyamatból adódik /$\alpha \geq 1$/. T az adatjelek periódusideje.

A vizsgálat során célunk, az optimális rendszer kiválasztása impulzuszaj jelenlétében. Impulzuszaj jelenlétét feltételezve; az adatátviteli rendszer optimalizálási eljárása során kiválasztjuk azt a demodulációs eljárást, ill. döntési kritériumot és szürőkarakterisztikát a vevőberendezésben, melynek alkalmazása esetén az impulzuszaj hatására a kimeneten megjelenő hibák száma - konstans

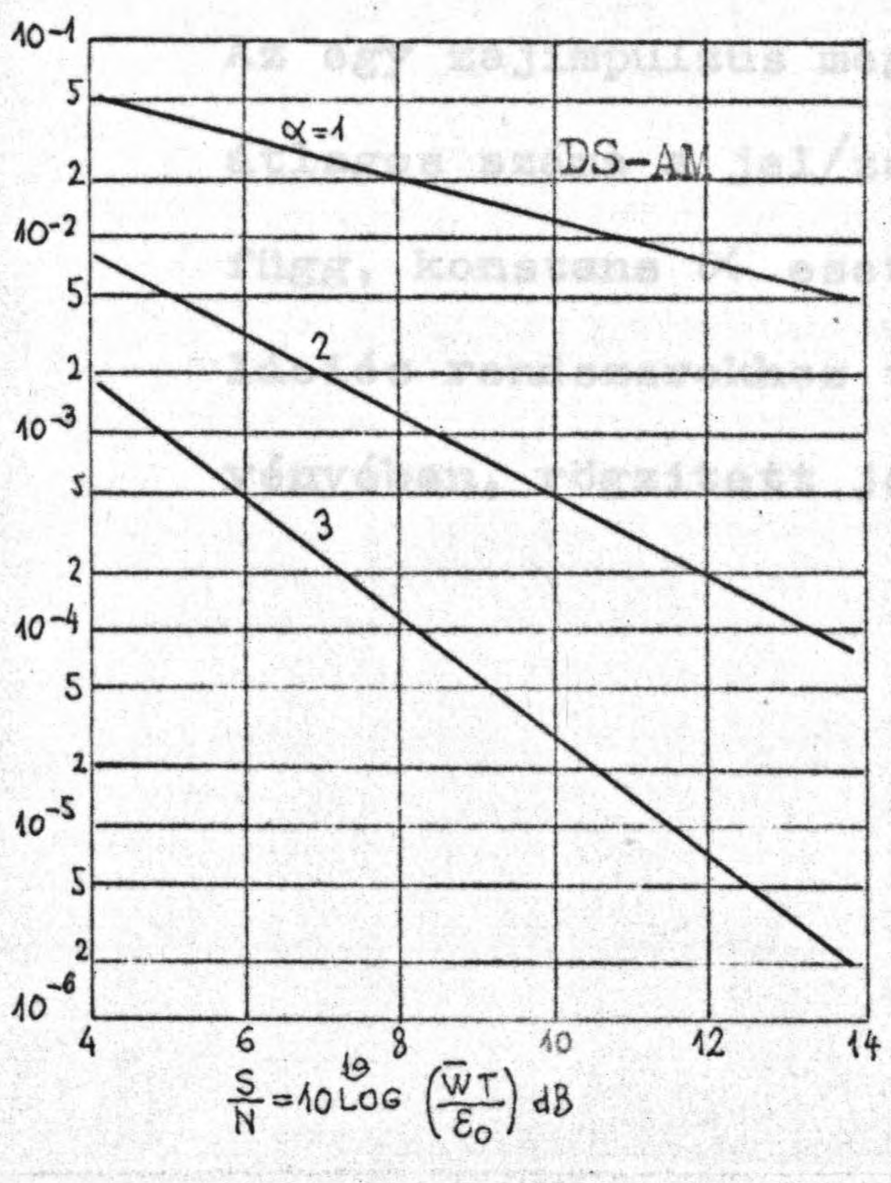
adási átlagteljesitmény mellett - minimális. Fenti cél eléréséhez, minden demodulációs módszer különböző szürő karakterisztikát kiván.

Az optimális demodulációs eljárás és szürőkarakterisztika kiválasztásánál figyelembe kell venni ezt a tényt is, hogy a különböző rendszerek minőségére, illetve feltételes hibavalószinüségére hatással van a rendszer fáziskarakterisztikája: a csoportfutásidő-torzitás. Ez a tulajdonság nem jellemző arra az esetre, amikor csak Gauss zaj van jelen a távközlő csatornában. Ennek oka abban keresendő, hogy a Gauss zaj-folyamat komponenseinek egymáshoz viszonyitott fázisa véletlen; mig a zajimpulzusok komponenseinek fázisa egymáshoz viszonyitva kötött. A zajimpulzus komponensei un."rendezett fázisúak". E felismerés miatt, az optimális rendszer kiválasztásánál és alkalmazásánál késleltető szürők alkalmazását is figyelembe vesszük, hogy tovább csökkenthessük a feltételes hibavalószinüség értékét. Késleltetőszürő alkalmazása esetén, a feltételes hibavalószinüség javulásának mértéke a késleltetőszürő karakterisztikájától és a maximális késleltetés nagyságától függ valamennyi modulációs rendszer esetén.

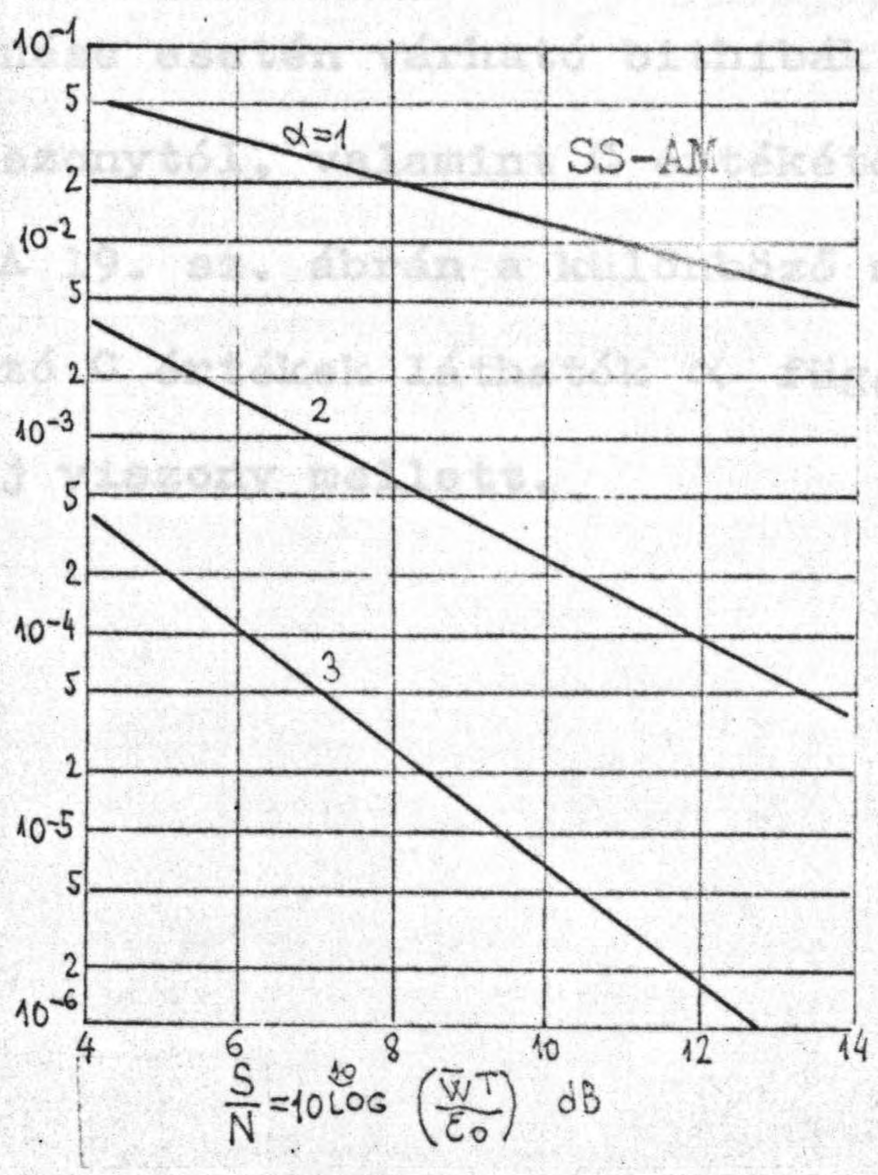
A késleltető szürő hatását részletesebben a 3.4.4 pontban vizsgáljuk meg. Az alábbi modulációs rendszerek minőségét tekintjük át impulzuszaj jelenlétében:

- kétoldalsávos AM koherens detekcióval /DS-AM/,
- egyoldalsávos AM koherens detekcióval /SS-AM/,
- AM burkoló detekcióval /AM/,
- FSK frekvencia diszkriminátorral /FSK/,
- bináris PSK differenciális koherens detekcióval /PSK/.

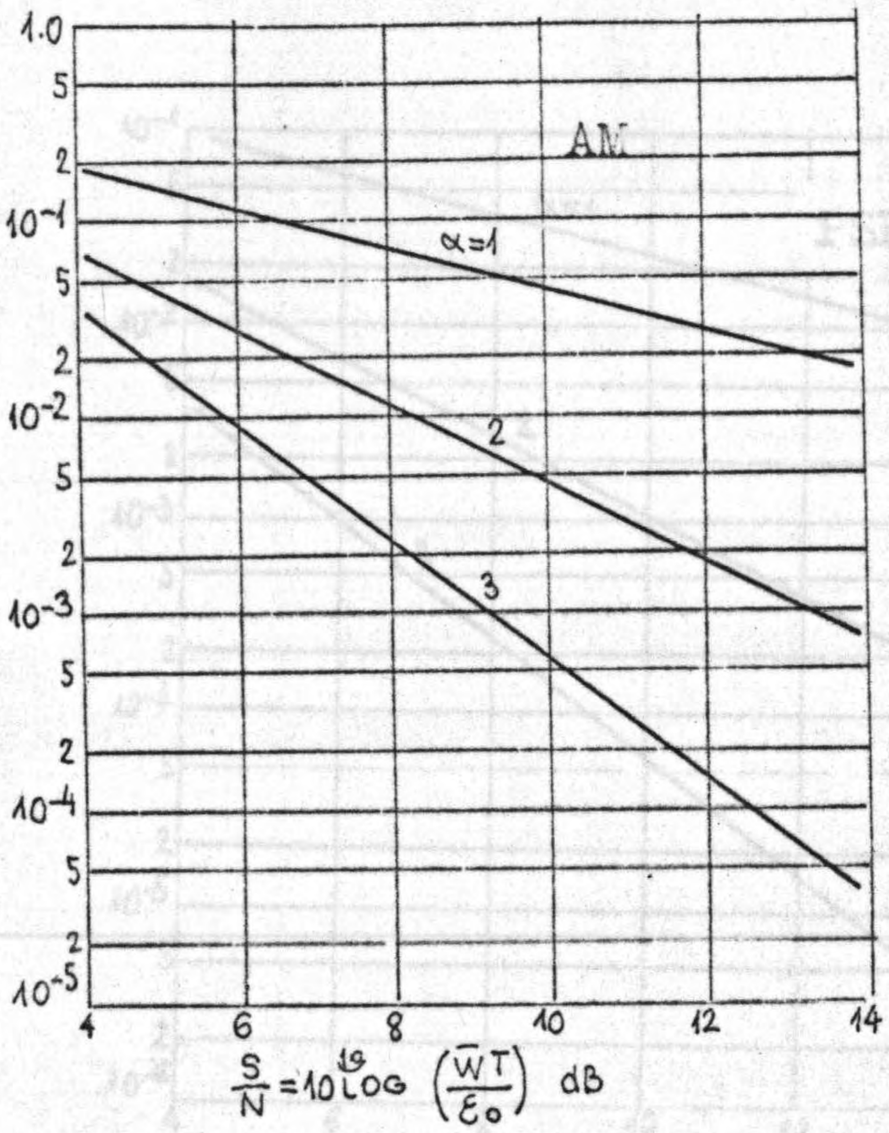
Fenti modulációs rendszerekben az egy zajimpulzus megjelenése esetén várható bithibák átlagos száma a jel-zaj viszony függvényében a 14 ... 18. sz. ábrákon látható.



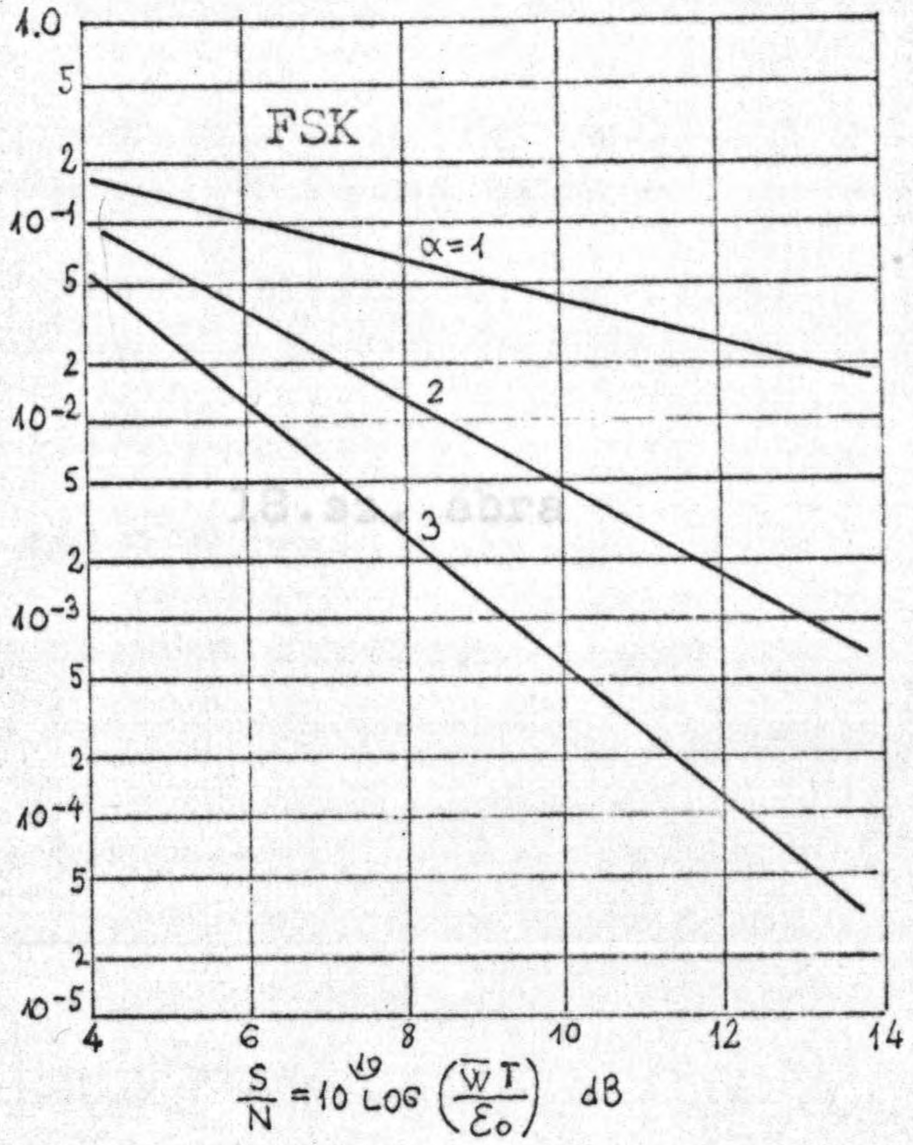
14.sz.ábra



15.sz.ábra

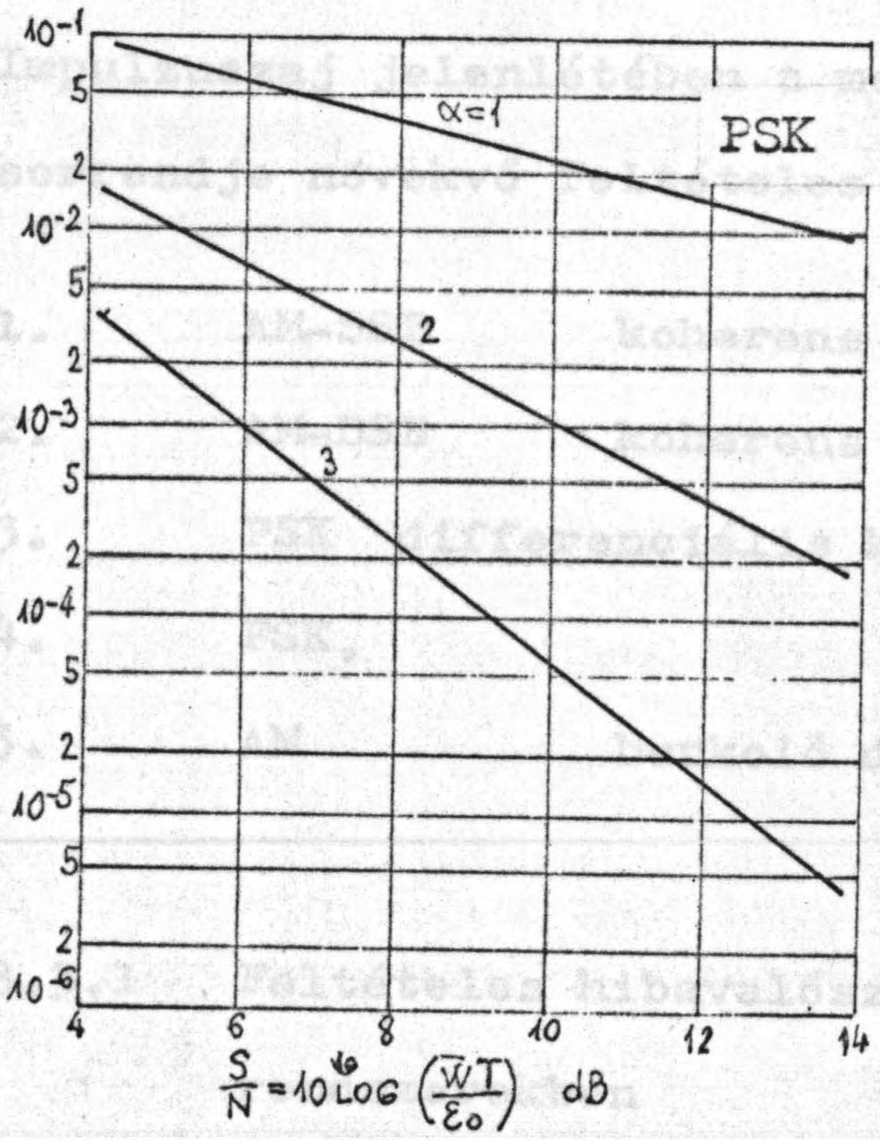


16.sz.ábra



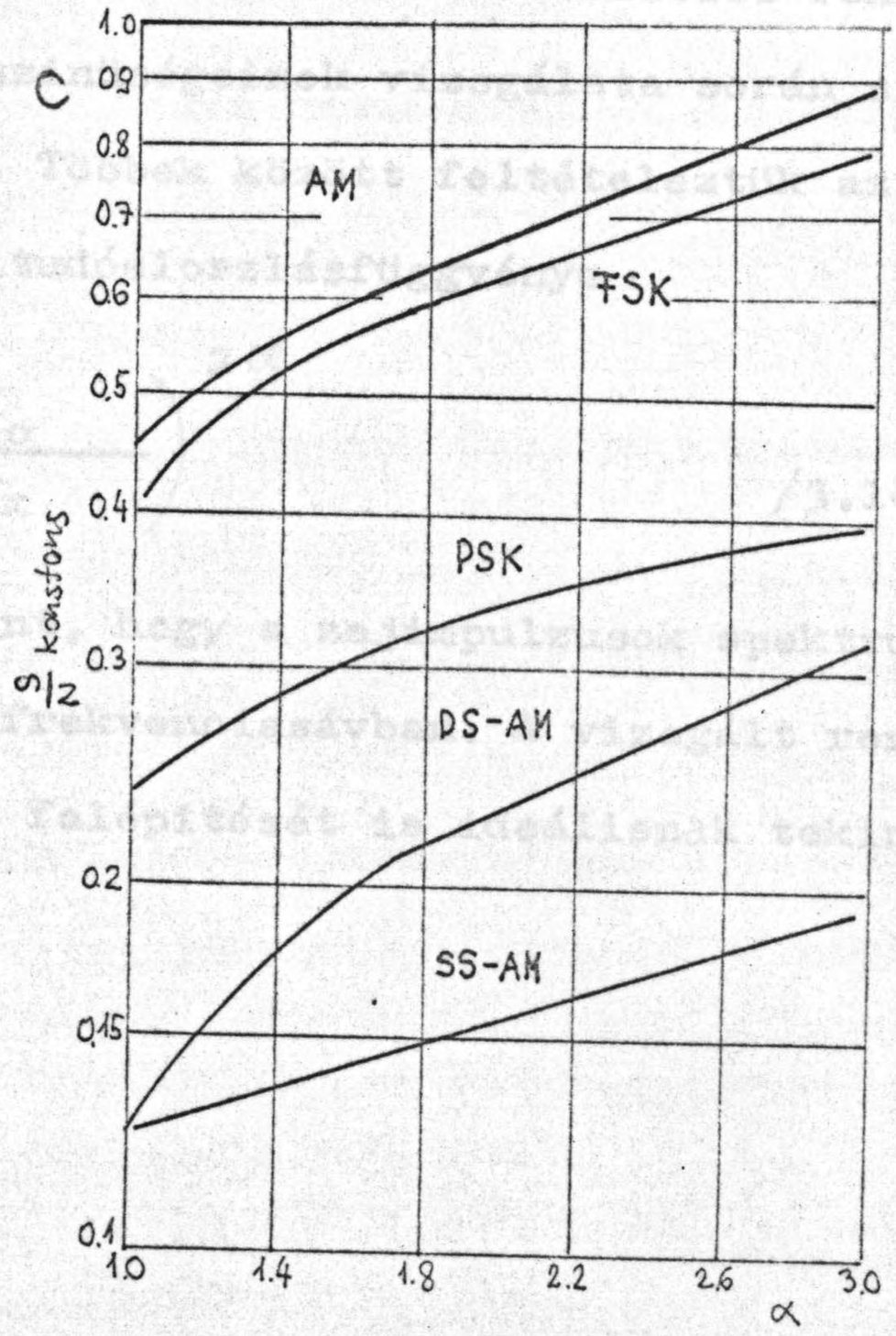
17.sz.ábra

Az egy zajimpulzus megjelenése esetén várható bithibák átlagos száma a jel/zaj viszonytól, valamint C értékétől függ, konstans α esetén. A 19. sz. ábrán a különböző modulációs rendszerekhez tartozó C értékek láthatók α függvényében, rögzitett jel/zaj viszony mellett.



18.sz. ábra

19.sz.ábra



Impulzuszaj jelenlétében a modulációs rendszerek - sorrendje növekvő feltételes hibavalószinüség szerint:

1. AM-SSB koherens detektorral,
2. AM-DSB koherens detekcióval,
3. PSK differenciális koherens detekcióval,
4. FSK,
5. AM burkoló detektorral.

3.3.1 Feltételes hibavalószinüség valóságos adatátviteli rendszerekben

Az előző pontban ismertetett modulációs rendszerek feltételes hibavalószinüségeinek vizsgálata során számos hipotézissel éltünk. Többek között feltételeztük azt, hogy az impulzuszaj amplitudóeloszlásfüggvénye

$$\left(\frac{K_o}{x}\right)^{2\alpha} \qquad /3.14/$$

alakú /Engel/ valamint, hogy a zajimpulzusok spektruma konstans a vizsgált frekvenciasávban. A vizsgált rendszerek adó és vevőrészeinek felépitését is ideálisnak tekintettük.

A feltételezett, illetve az analizis során alkalmazott, amplitudóeloszlás függvénytől eltér a Fennick és Mertz által javasolt eloszlásfüggvény is. Ugyancsak jelentős különbséget mutat Engel modelljéhez képest, az általunk - a valóságos távközlő csatornában-méréssel meghatározott amplitudósürüségfüggvény, illetve eloszlásfüggvény is. Nem tekinthetők a vezetékes adatátviteli távközlő csatornán üzemelő adatátviteli modemek nem ideális modulációs rendszereknek.

Fenti okok miatt, a valóságos távközlő csatornán üzemelő valóságos adatátviteli rendszerek feltételes hibavalószinüsége eltér az elméleti vizsgálatok során kapott értékektől, Hogy az eltérés nagyságát megbecsülhessük, megvizsgáljuk - valóságos modulációs rendszerekben - a feltételes hibavalószinüség változását, a jel/impulzuszaj csucsfeszültség függvényében.

American Telephone and Telegraph Company méréséi

A mérés során [11] a zajimpulzusok csucsfeszültségének eloszlása, valamint a zajimpulzusok által előidézett feltételes hibavalószinüségek kerültek empirikusan meghatározásra. Az empirikus leirás eredményeinek ismeretében meghatározhatjuk a zajimpulzusonként várható bithibák átlagos

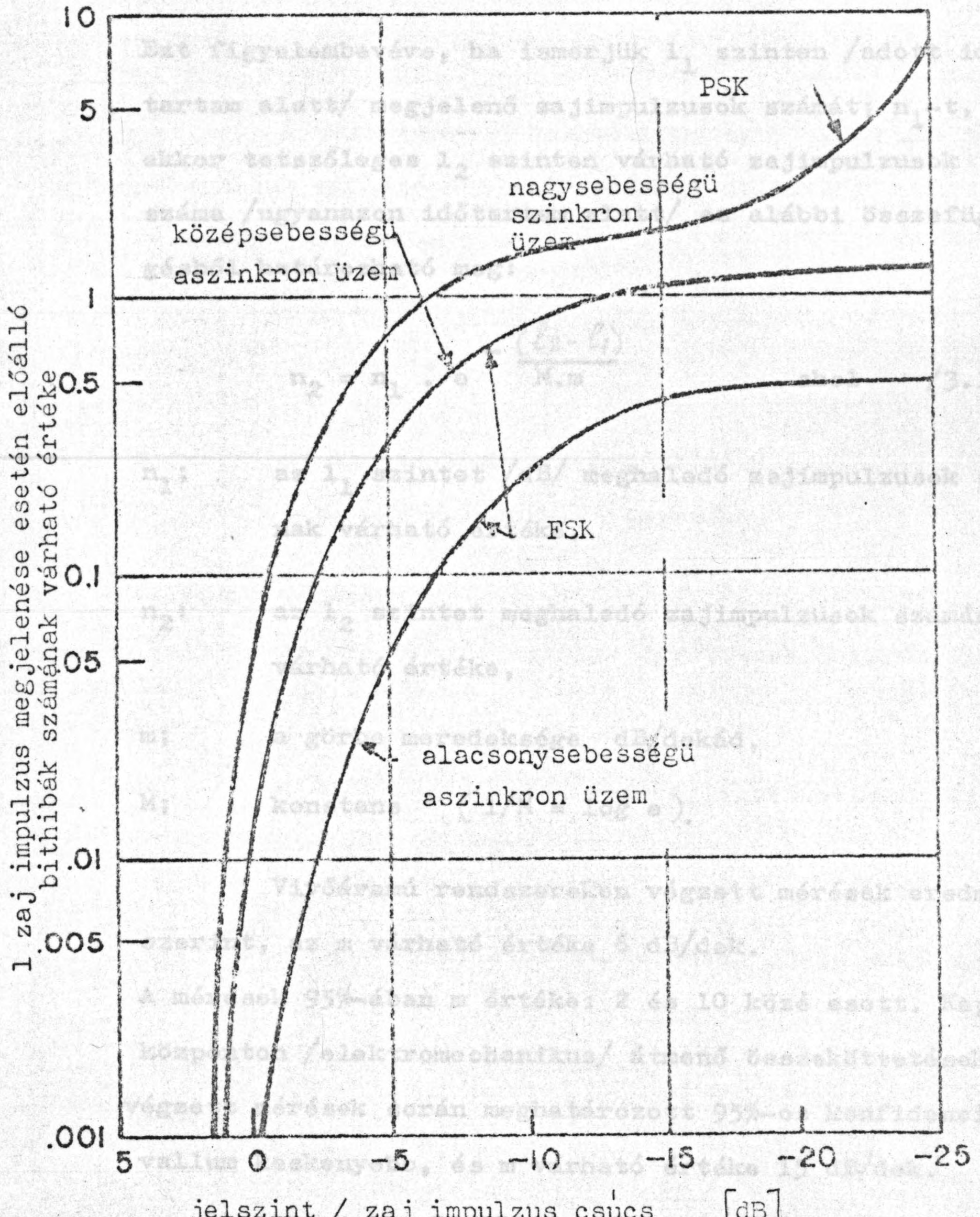
számát, az adatjel effektiv értéke és a zajimpulzus csucsfeszültségének /dB-ben kifejezett viszonyának/ függvényében:

$$\frac{S}{N} = 20 \log \frac{u_{eff\ /jel/}}{u_{csucs}/zaj/} \quad , \quad /dB/ \quad . \quad /3.15/$$

A 20. sz. ábrán feltüntetett görbék alakja a moduláció tipusától, az alkalmazott üzemmódtól /szinkron, aszinkron/ függ.

Azt a jel/zaj viszony értéket, melynél - adott modulációs rendszerben - a feltételes hibavalószinüség értéke 10^{-3}, szokásos a gyakorlatban az impulzuszaj érzékenységü küszöbeként megadni.

A cég által elvégzett mérések tapasztalatai szerint a zajimpulzusok csucsfeszültségének eloszlásfüggvénye inverz exponenciális függvénnyel irható le. Az amplitudóeloszlás függvényt sokcsatornás impulzuszaj számláló berendezés alkalmazásával határozták meg. A csucs-amplitudók helyett a zajimpulzusok száma került meghatározásra a választott küszöbszinteken.


10
5
1
0.5
0.1
05
.01
.005
.001
1 zaj impulzus megjelenése esetén előálló bithibák számának várható értéke
PSK
nagysebességü szinkron üzem
középsebességü aszinkron üzem
FSK
alacsonysebességü aszinkron üzem
5
0
-5
-10
-15
-20
-25
jelszint / zaj impulzus csúcs [dB]

20.sz.ábra

Ezt figyelembevéve, ha ismerjük l_1 szinten /adott időtartam alatt/ megjelenő zajimpulzusok számát; n_1-t, akkor tetszőleges l_2 szinten várható zajimpulzusok száma /ugyanazon időtartam alatt/ az alábbi összefüggésből határozható meg:

$$n_2 = n_1 \cdot e^{-\frac{(l_2 - l_1)}{M.m}} \qquad \text{ahol} \qquad /3.16/$$

n_1; az l_1 szintet /dB/ meghaladó zajimpulzusok számának várható értéke,

n_2: az l_2 szintet meghaladó zajimpulzusok számának várható értéke,

m; a görbe meredeksége dB/dekád,

M; konstans ($1/M = \log e$).

Vivőáramú rendszereken végzett mérések eredményei szerint, az m várható értéke 6 dB/dek.
A mérések 95%-ában m értéke: 2 és 10 közé esett. Kapcsolóközponton /elektromechanikus/ átmenő összeköttetéseken végzett mérések során meghatározott 95%-os konfidenciaintervallum keskenyebb, és m várható értéke 15 dB/dek.

A feltételes hibavalószinüség - illetve a zajimpulzusként várható bithibák száma - az alábbi empirikus összefüggéssel adható meg:

$$E = a \cdot e^{b \cdot e^{-c \cdot \ell}} \quad \text{, ahol} \qquad /3.17/$$

E: az egy zajimpulzus megjelenése esetén várható bithibák számának átlagértéke,

a, b,: konstansok, melyek értékeit a modem jellemzői és más zavaró hatások együttesen határozzák meg,

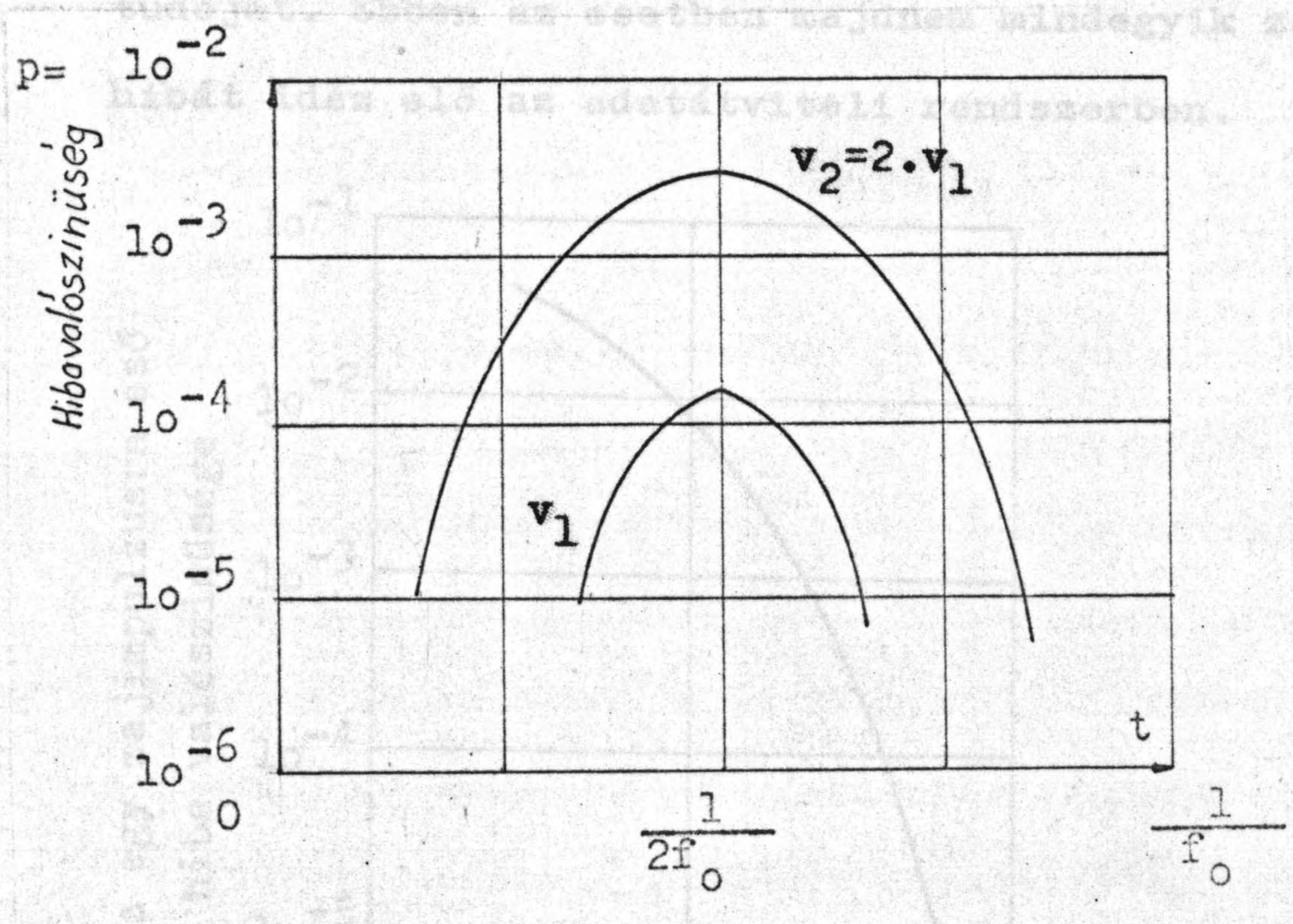
c: a kritikus jel/zaj viszony fölötti szint érték, dB-ben kifejezve.

A feltételes hibavalószinüség görbék azt mutatják, hogy ha a zajimpulzus amplitudója eléri, vagy meghaladja a jelfeszültség effektiv értékét, akkor minden megjelenő zajimpulzus nagy valószinüséggel 1 bit hibát okoz.

Impulzuszavarok hatása a hibavalószinüségre

Curov, Jemeljanov, Jetruhin, Bazilevics mérési

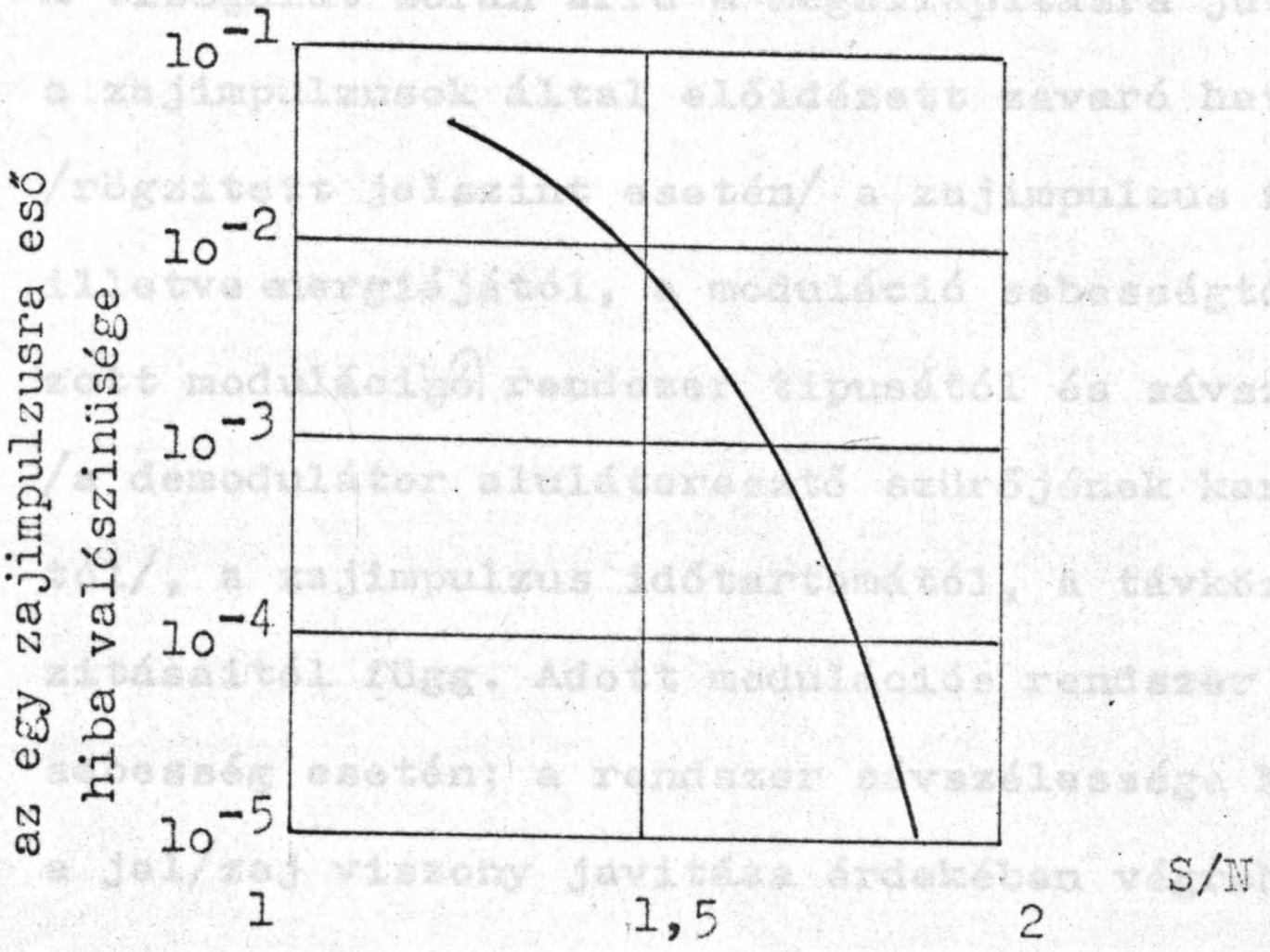
Az impulzuszaj hatását vizsgálták - mérések alapján - FM adatátviteli rendszerekben [12.]. A 21. sz. ábrán az egy zajimpulzusra eső hibavalószinüségnek függése láthatő; a zajimpulzus időtartamától, különböző adatátviteli sebességek esetén /rögzitett jel/zaj viszony mellett/. v az adatátviteli sebesség.



21.sz.ábra

A legnagyobb hibavalószinüség; $\Delta t \approx \frac{1}{2.f_o}$ időtartamú zajimpulzus megjelenése esetén várható, ahol f_o az adatátviteli csatorna középfrekvenciája. A sebesség növekedésével - ahogyan az az ábrán látható - nő a hiba valószinüsége.

A következő 22. sz. ábrán szintén egy mérési sorozat eredménye látható, mely a jel/zajimpulzus amplitudó viszonyának függvényében mutatja a hibavalószinüség változását. Látható, hogy a zajimpulzusok zavaró hatása akkor jelentős, amikor amplitudójuk túllépi a jel amplitudóját. Ebben az esetben majdnem mindegyik zajimpulzus hibát idéz elő az adatátviteli rendszerben.



jel és zaj amplitudók viszonya

22.sz. ábra

A fent emlitett összefüggések PM esetén is érvényesek. AM esetén a zajimpulzusok akkor okoznak nagy valószinüséggel hibát, amikor a jel/zaj viszony kisebb mint 2.

3.4 Véletlen zajfolyamat áthaladása az adatátviteli távközlő csatornán, elkenési technika

E fejezetben áttekintettük az impulzuszaj formális definicióját, a javasolt impulzuszaj modelleket, valamint a feltételes hibavalószinüség kapcsolatát az impulzuszaj jellemzőivel.

A vizsgálat során arra a megállapitásra jutottunk, hogy a zajimpulzusok által előidézett zavaró hatás mértéke /rögzitett jelszint esetén/ a zajimpulzus feszültségétől, illetve energiájától, a moduláció sebességtől, az alkalmazott modulációs rendszer tipusától és sávszélességétől /a demodulátor aluláteresztő szürőjének karakterisztikájától/, a zajimpulzus időtartamától, a távközlő csatorna torzitásaitól függ. Adott modulációs rendszer és adatátviteli sebesség esetén; a rendszer sávszélessége kötött, továbbá a jel/zaj viszony javitása érdekében végrehajtható jelszint

növelésének - a távközlő csatorna által meghatározott - korlátai vannak. Minimális hibavalószinüség elérése céljából a gyakorlatban kiegyenlitjük a távközlő csatorna csillapitás és csoportfutási idő torzitásait is.

Adatátviteli rendszerek tervezése során a következő kérdésre kell választ adni: hogyan kell megtervezni az adatátviteli csatornát, hogy - a távközlő csatornában jelenlévő impulzuszaj mellett - biztositható legyen a megkivánt hibaarány. A megengedett hibaarány az esetek többségében az elérhető legalacsonyabb hibaarányt jelenti. A rendszer analizise során emiatt arra a kérdésre szeretnénk választ kapni, hogy az eddig tárgyalt módszerek mellett biztositható-e olyan eljárás, melynek alkalmazásával tovább csökkenthetnénk az impulzuszaj által előidézett zavaró hatást.

Az alkalmazható módszert először Lerner javasolta [13]. A módszert az amerikai irodalomban "smearing-desmearing" technikának nevezik. Mi a továbbiakban az "elkenési technika" elnevezést használjuk. Az elkenési technika tanulmányozása előtt megvizsgáljuk a véletlen jelek áthaladását a távközlő csatornán.

3.4.1 Az amplitudóeloszlás transzformációja

Az impulzuszaj távközlő csatornán történő áthaladása szempontjából - jelen vizgálat során - a legnagyobb jelentőségü az amplitudóeloszlás transzformációja. Az amplitudóeloszlás lineáris rendszeren történő transzformációjának meghatározásához két általános tétel rendelkezésünkre áll.

- Ha a távközlő csatornába bemenő folyamat normális amplitudóeloszlású, akkor a kimeneten megjelenő amplitudóeloszlás is normális.

- Ha egy rendszer sávszélessége kisebb, mint a bemenő jel spektruma, akkor bármilyen a bemenő jel amplitudóeloszlása, a kimeneti eloszlás a normális eloszláshoz közelit.

A 4.5 sz. pontban kisérletet teszünk arra, hogy ismert amplitudóeloszlás függvény esetén, adott négypóluson keresztül kisérletileg megvizsgáljuk, hogyan transzformálódik az empirikus sürüségfüggvény a sávszélesség s a csoportfutási idő torzitás változtatásának függvényében.

3.4.2 Impulzuszaj komponenseinek fázisviszonyai

A normális amplitudóeloszlású Gauss zaj tulajdonsága az, hogy váltókomponenseinek egymáshoz viszonyitott fázisai véletlenszerüek. Ez a tulajdonság nem változik meg akkor sem, ha a folyamat tetszőleges paraméterü távközlő csatornán halad át. A csillapitás és csoportfutási idő torzitás a zaj normális amplitudóeloszlásának jellegét nem változtatja meg.

Az impulzuszaj amplitudóeloszlása azonban - a Gauss zajjal ellentétben - szoros kapcsolatban van a komponensek fázishelyzetével. Nagy gyakorlati jelentősége van annak a tételnek [27] , melyszerint: a zajimpulzus csucsamplitudóját a teljesitménysürüség spektrum egy konstans szorzó erejéig meghatározza /Bennet, Davey/:

$$U_{cs} = \text{konst} \int_0^{\infty} G\,/\,\omega\,/^{\frac{1}{2}} \; d\omega , \qquad /3.18/$$

ahol $G\,/\,\omega\,/$ a zajimpulzus egyoldalas teljesitménysürüség spektruma. Fenti tétel heurisztikus gondolatmenet eredménye, ugyanis a teljesitménysürüség spektruma nem tartalmaz

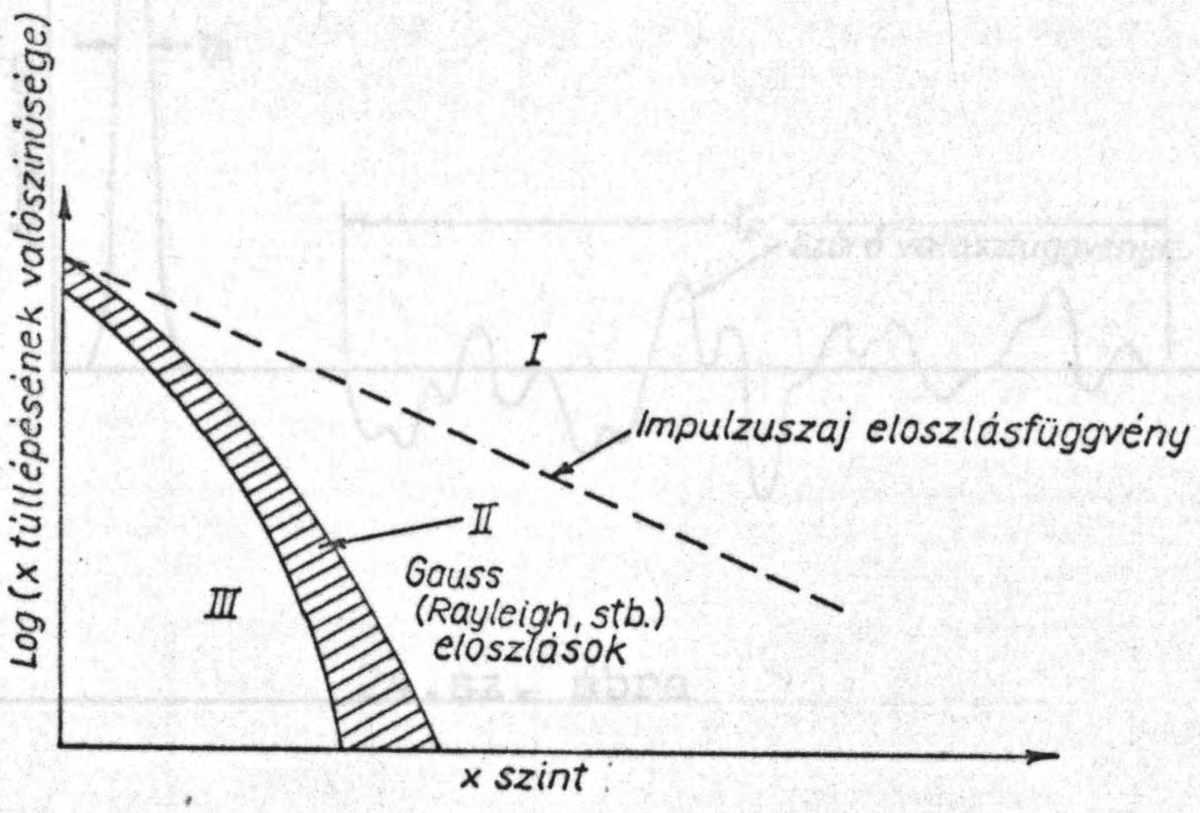
fázisra vonatkozó információt. Feltesszük, hogy a zajimpulzus maximális feszültségének időpontjában valamenynyi komponensnek maximuma van, illetve az irodalomban szokásos kifejezéssel élve; a komponensek "rendezett fázisuak". A csucsamplitudókat ennek megfelelően ugy kaphatjuk meg, hogy az összes komponens amplitudóját összeadjuk.

A továbbiakban a fent emlitett rendezett fázisállapot megváltoztatásának lehetőségét vizsgáljuk meg, hogy ezáltal csökkenthető legyen a zajimpulzusok amplitudója, illetve befolyásolni tudjuk az amplitudóeloszlást.

3.4.3 Elkenési technika

A következőkben megvizsgáljuk azt, hogy az elkenési technika alkalmazásával csökkenthető-e az impulzus zaj által okozott zavaró hatás mértéke.

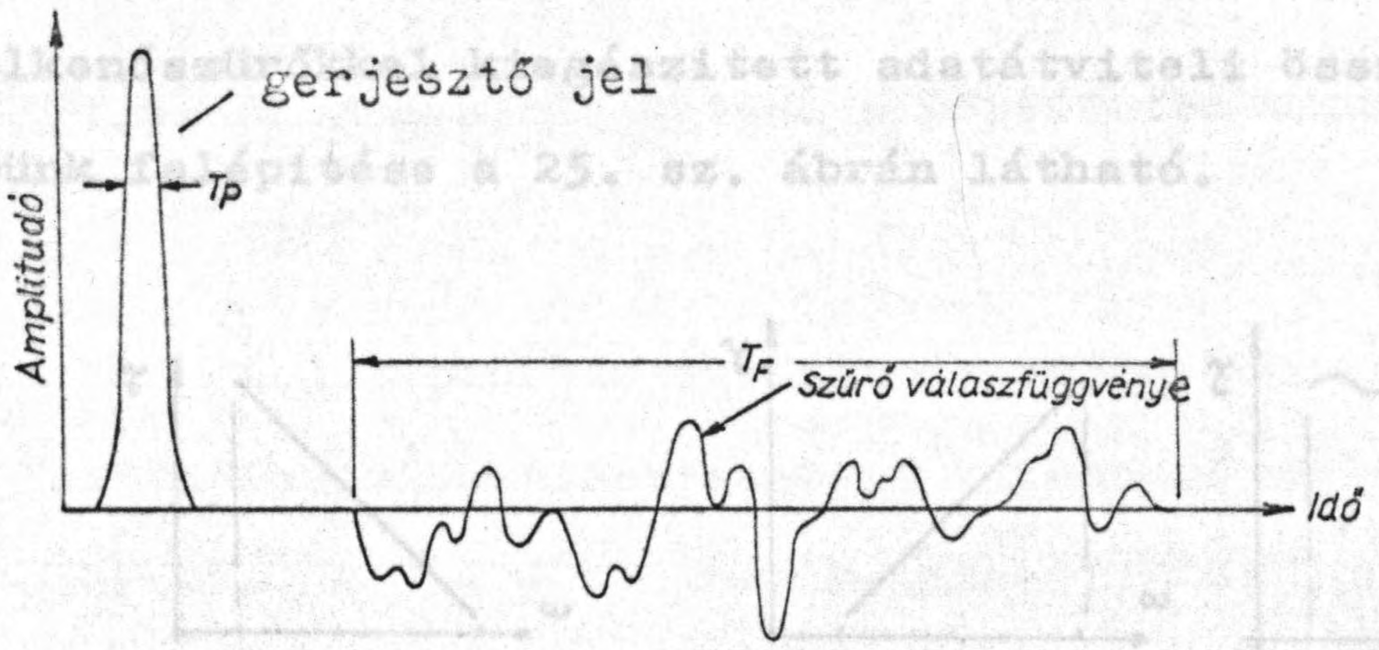
A központi határeloszlás tétel értelmében: megfelelően választott integrációs idő mellett, mindig lehetséges transzformálni egy tetszőleges I.folyamatot /L: 23. sz. ábrán/ ugy, hogy a II. részbe essen, azaz eloszlásfüggvénye tetszőlegesen kevéssel térjen el a normális eloszlásfüggvénytől.



23.sz. ábra

Vizsgáljuk meg, hogy milyen szempontok szerint kell megválasztani a fent emlitett integrálási időállandót. Tekintsük a 24. sz. ábrán látható T_p időtartamu zajimpulzust. T_p a rendszer sávszélességének reciproka. Tételezzük fel, hogy rendelkezünk egy olyan mindent áteresztő szürővel, melynek nagy csoportfutásidő torzitása van. Tételezzük fel továbbá azt is, hogy a szürőnek olyan sávszélessége van, mint a csatornának.

Ha a zajimpulzus áthalad a szürőn, akkor a kimeneten megjelenő zajimpulzus tartam jóval nagyobb lesz, mint a bemene-



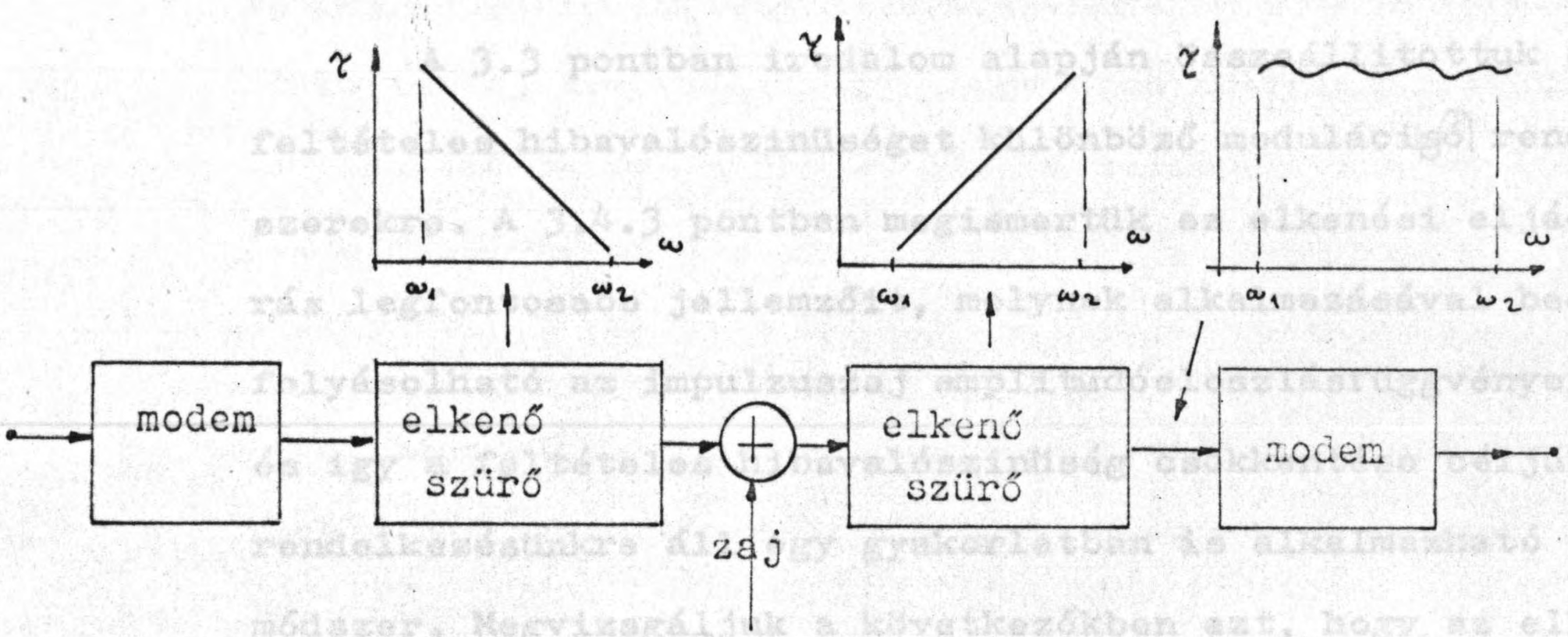
24.sz. ábra

ten volt, ugyanis a zajimpulzus energiája jóval nagyobb időtartam alatt oszlik el. Ezáltal a zajimpulzust elkentük. A transzformáció során a zajimpulzus amplitudóját az alábbi tényezővel csökkentettük [30.]

$$\frac{U_{ki}}{U_{be}} = \sqrt{\frac{T_P}{T_F}}, \qquad T_F \gg T_P. \qquad /3.19/$$

A szürő csillapitása a vizsgált sávban zérus, igy a zajimpulzus teljesitménye a bemeneten és a kimeneten azonos. Ha az elkenés időtartama egyenlő a zajimpulzusok közötti időtartam várható értékével, a zajimpulzusok amplitudója csökken, a zajimpulzusok időtartamának és az elkenési idő hányadosa négyzetgyökének arányában.

Elkenőszürőkkel kiegészitett adatátviteli összeköttetésünk felépitése a 25. sz. ábrán látható.



25.sz. ábra

Az adóoldali elkenőszürő csoportfutásiidő karakteriszti-kája a vizsgált frekvenciasávban pl: $\tau_1(\omega) = -k.\omega$, a vevőjé $\tau_2(\omega) = k.\omega$. Tekintettel arra, hogy az adó kimenete és a vevő bemenete között a csoportfutási idők összeadódnak, az eredő csoportfutási idő frekvenciától független konstans, a vizsgált sávban. Az elkenőszürő tehát csak a zajimpulzusok komponenseit "keni"el, a modem adási és vételi pontjai között az adatjelek komponenseinek fázisviszonyai nemváltoznak meg.

3.4.4 Elkenőszürők hatása a feltételes hibavalószinüségre

A 3.3 pontban irodalom alapján összeállitottuk a feltételes hibavalószinüséget különböző modulációs rendszerekre. A 3.4.3 pontban megismertük az elkenési eljárás legfontosabb jellemzőit, melynek alkalmazásával befolyásolható az impulzuszaj amplitudóeloszlásfüggvénye és igy a feltételes hibavalószinüség csökkentése céljából rendelkezésünkre áll egy gyakorlatban is alkalmazható módszer. Megvizsgáljuk a következőkben azt, hogy az elkenőszürő karakterisztikájának alakja és a késleltetés nagysága hogyan befolyásolja a vizsgált modulációs rendszerek feltételes hibavalószinüségét.

Legyen pl. az adóoldali elkenőszürő karakterisztikája:

$$\gamma_a(\omega) = \gamma - \gamma(\omega) \qquad /3.20/$$

az átvitt adat-jelek frekvenciatartományában. γ konstans értékének legalább akkorának kell lennie, mint $\gamma(\omega)$ maximális értékének/a realizálhatóság miatt $\gamma_a(\omega)$ -nak pozitivnak kell lenni/. A vevőoldalon elhelyezett szürő, komplemense $\gamma_a(\omega)$ karakterisztikájú adóoldali elkenőszürőnek igy az adatvevő bemenő pontjain a csoport-

futási idő a frekvenciától függetlenül konstans. A zajimpulzusok /melyek a vételi oldalon elhelyezett elkenőszürőn haladnak keresztül/ komponensei különböző mértékü késleltetést szenvednek úgy, hogy azok energiái "szétterülnek" az idő tartományban miáltal a zajimpulzusok amplitudói jelentősen csökkennek.

A következőkben a három csoportfutási idő karakterisztikáju elkenőszürő alkalmazása esetén elérhető /rögzitett hibaarányhoz tartozó/ jel/zaj viszony növekedést fogjuk vizsgálni.

Az egyik ezek közül lineáris csoportfutási idejü / $\tau_1(\omega)$ /.

A vizsgált sávban a maximális csoportfutási idő értéke τ_m.

A másik két elkenőszürőknek szinuszos jellegü csoportfutási idő karakterisztikája van.

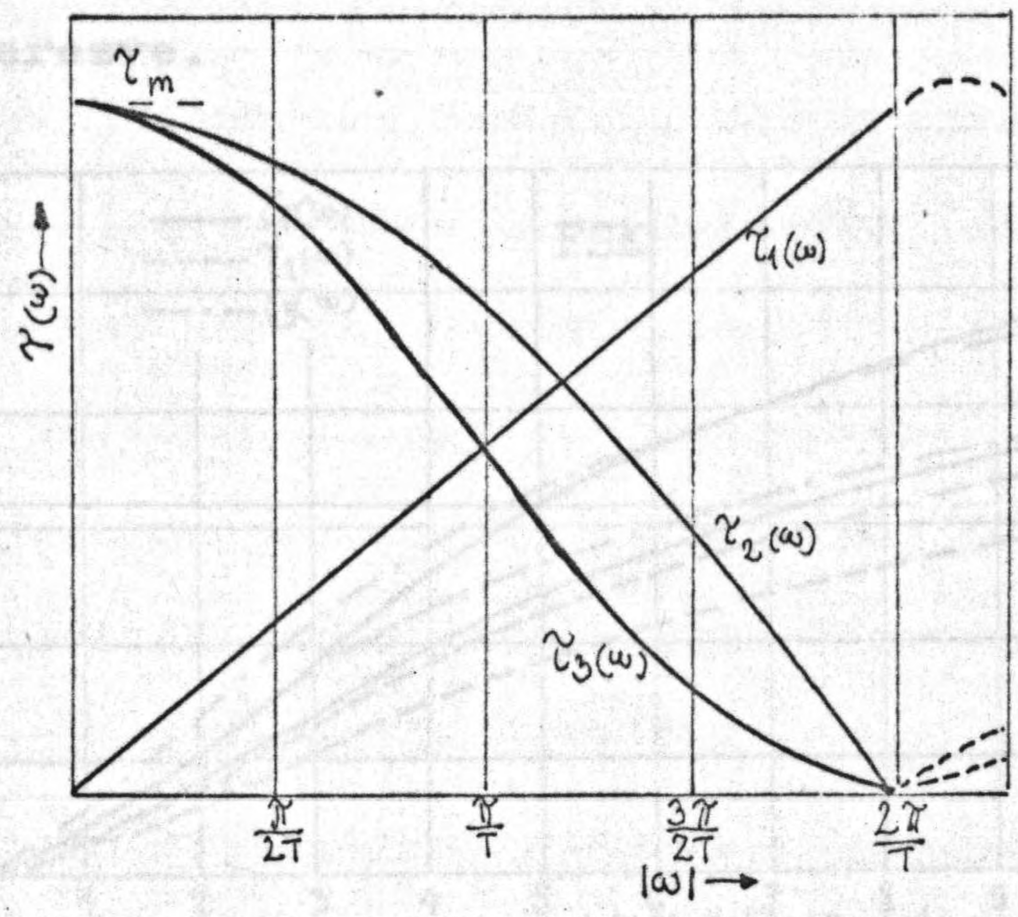
Az egyiknek ezek közül a vizsgált sávban a karakterisztikája:

$$\tau_2/\omega/ = \tau_m \cdot \cos \frac{\omega \cdot T}{4}, |\omega| < \frac{2 \cdot \pi}{T} \quad . \qquad /3.21/$$

A harmadik elkenőszürő karakterisztikája:

$$\tau_3/\omega/ = \frac{\tau_m}{2} /1 + \cos \frac{\omega \cdot T}{2} /, |\omega| < \frac{2 \cdot \pi}{T} \quad . \qquad /3.22/$$

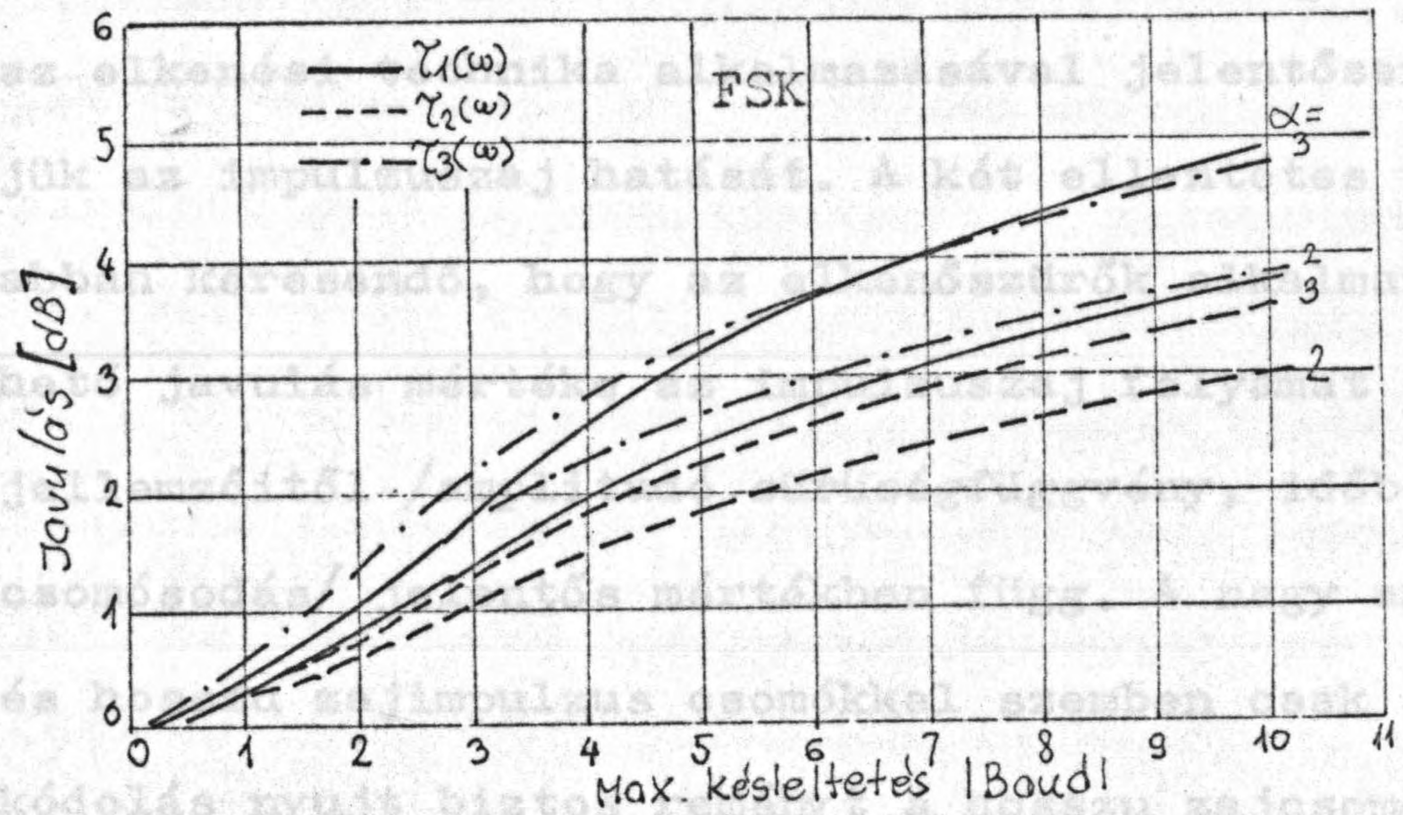
A három csoportfutási idő karakterisztika a 26. sz. ábrán látható.



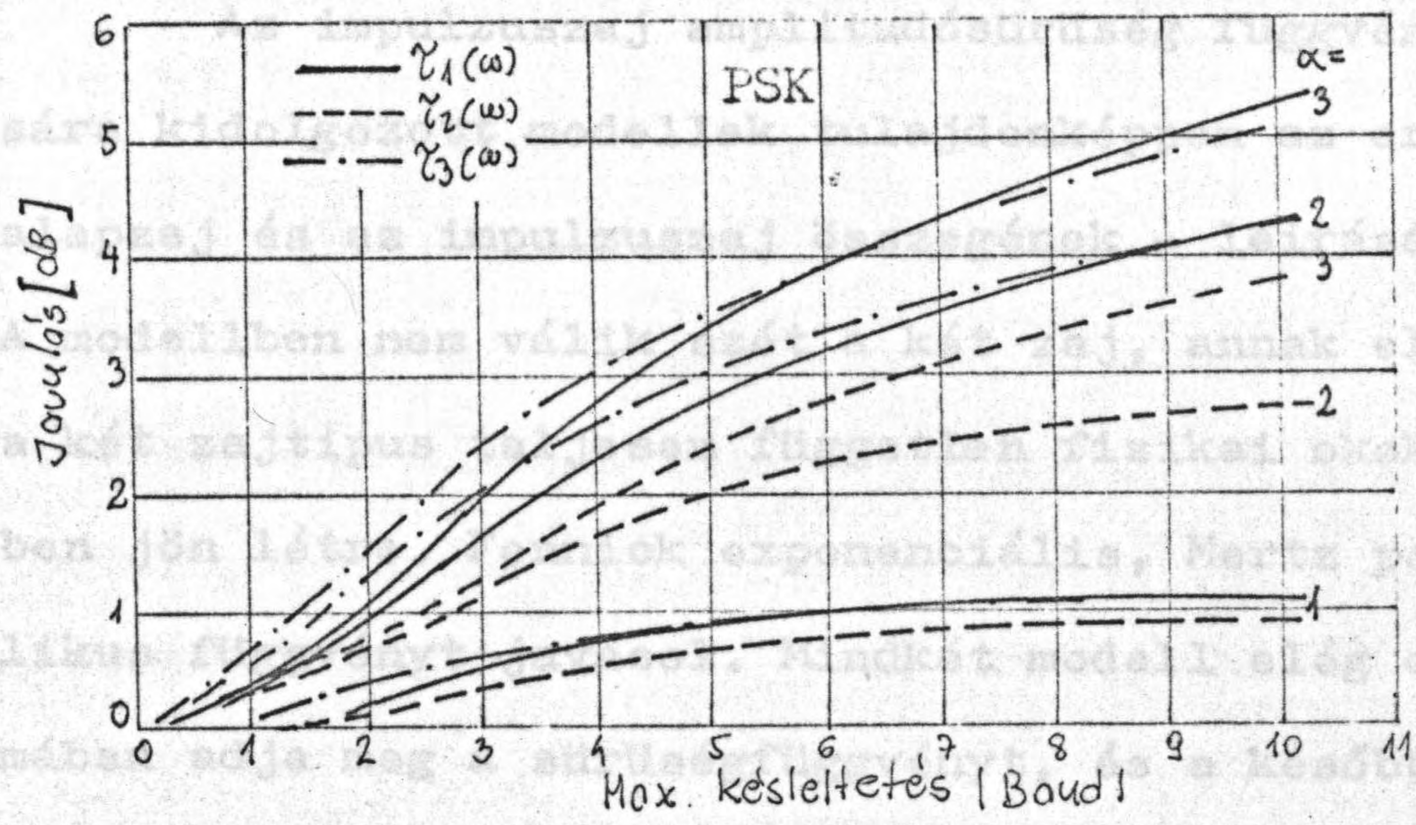
26.sz. ábra

A 3.3 pontban tárgyalt modulációs rendszerek feltételes hibavalószinüségét elkenő szürők jelenlétében Engel vizsgálta. Egy heurisztikus gondolatmenet Wainwright cikkében [14] is található. Engel, vizsgálata során azt a jel/zaj viszony értéket határozta meg, mely mellett a feltételes hibavalószinüség nagysága akkora mint elkenő szürő nélkül. Ez a jel/zaj viszony jellemzi a javulás mértékét. A maximális csoportfutási idő elemi jel időtartamára vonatkoztatott értéke a vizsgálat során 10 bit.

A 27. 28.sz. ábrákon: FSK és PSK rendszerekre vonatkozó /dB-ben kifejezett/ javulás mértékét tüntettük fel, a késleltetési idő függvényében; $\gamma_1/\omega/$, $\gamma_2/\omega/$-val paraméterezve.



27.sz. ábra



28.sz. ábra

α az impulzuszaj amplitudóeloszlásától függő paraméter.

Az irodalomban fellelhető más utalások szerint [28.] az elkenési technikát tartalmazó rendszerek a gyakorlatban sokszor nem müködnek kielégitően. Ennek oka abban keresendő, hogy hosszu zajcsomók megjelenése esetén a módszer hatásfoka jelentősen csökken. Mások szerint [27., 14., 30.] az elkenési technika alkalmazásával jelentősen csökkenthetjük az impulzuszaj hatását. A két ellentétes vélemény oka abban keresendő, hogy az elkenőszürők alkalmazásával elérhető javulás mértéke az impulzuszaj folyamat statisztikai jellemzőitől /amplitudó sürüségfüggvény, időbeli eloszlás, csomósodás/ jelentős mértékben függ. A nagy amplitudók és hosszu zajimpulzus csomókkal szemben csak a digitális kódolás nyujt biztos reményt a hosszu zajcsomók által előidézett hibák csökkentésére.

Az impulzuszaj amplitudósürüség függvényének leirására kidolgozott modellek tulajdonképpen az eredő zaj - az alapzaj és az impulzuszaj összegének - leirását adják meg. A modellben nem válik szét a két zaj, annak ellenére, hogy a két zajtipus teljesen független fizikai okok következtében jön létre. Fennick exponenciális, Mertz pedig hiperbólikus függvényt javasol. Mindkét modell elég egyszerü formában adja meg a sürüségfüggvényt, és a később ismertetésre kerülő mérési sorozat alkalmával meghatározott empirikus

amplitudósürüség függvény a fenti függvényekkel nem közelithető, mert a mérési adatok a fenti közelitő függvényektől szisztematikus eltérést mutatnak.

Nem találhatjuk meg az irodalomban az elkenőszürőn áthaladó impulzuszaj folyamat amplitudósürüség függvényének transzformációjára vonatkozó adatokat. Még nem kellően tisztázott az impulzuszaj és az általa okozott véletlen távirótorzitás közötti empirikus összefüggés sem, pedig ez a táviró és adatátviteli rendszerek üzeme szempontjából alapvető fontossággal bir. Adatátviteli rendszerek fenntartási méréseinél a számlált zajimpulzusok időbeli eloszlásának ismeretében jelentősen csökkenthető lenne a mérések időtartama, ugyanis a CCITT által javasolt mérés időtartama 15 perc.Ezért mérésekkel ellenőrizzük a számlált zajimpulzusok időbeli eloszlására vonatkozó adatokat.

A továbbiakban a fent felsorolt problémákra keressük a választ; ismertetésre kerülnek a kidolgozott mérési eljárások, a mérések során nyert eredmények, a mérések adatainak elemzéséből tett megállapitások, a kidolgozott impulzuszaj modell és a megtervezett, valamint kivitelezett mérőberendezések.

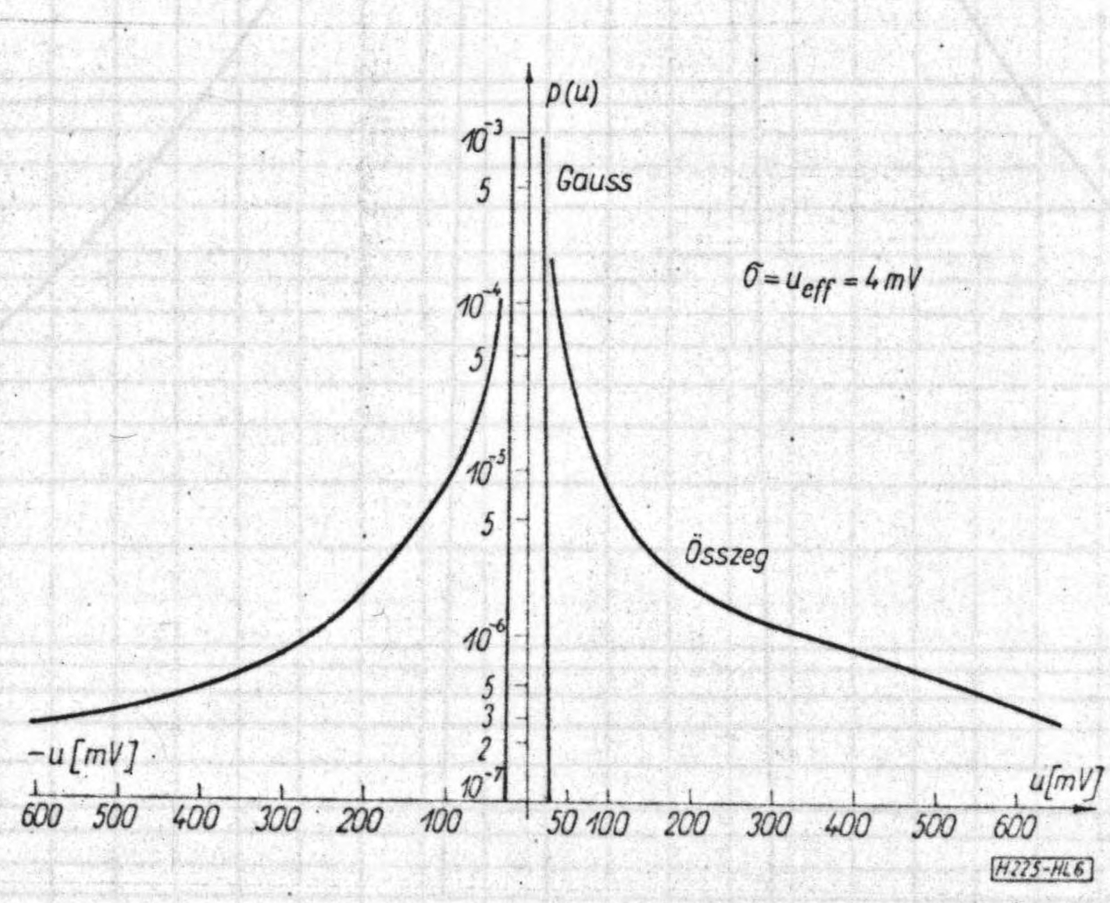
4. Impulzuszaj statisztikus jellemzői, azok mérése és hatása a véletlen távirótorzitásra

4.1. Amplitudósürüség függvény leirására javasolt modell

Először a budapesti kapcsolt távbeszélő-hálózaton létesitett összeköttetéseken végzett mérések eredményeit tekintjük át. A mérés alkalmával az impulzuszaj szünetekben jelenlévő alapzaj effektiv értékét, valamint az összeg zajfolyamat amplitudósürüségfüggvényét határoztuk meg. Az amplitudósürüség függvény meghatározásához a KFKI által gyártott NTA - 512 B tipusjelü analizátort alkalmaztuk. Egy-egy mérés időtartama 15 perc volt. Fenti méréseket minden vizsgált központtipusnál legalább 50 alkalommal végeztük el. A 29. sz. ábrán Rotary tipusu távbeszélő-központon átmenő összeköttetések amplitudósürüség függvényének átlagértékét tüntettük fel. Az impulzuszaj mentes időtartamban mért zajfeszültség effektiv értékének várható értéke 4 mV. A legvalószinübb impulzuszajmentes időtartamot a BME-HEI által kifejlesztett Aktiv Időmérő Berendezés alkalmazásával /inaktiv állás/ határoztuk meg. A fenti ábrába berajzoltuk a 4 mV szórásu Gauss zaj sürüségfüggvényét is. A 30. sz. ábra abszcisszájára a zajfeszültség pillanatnyi amplitudójának és

zaj-
az impulzusmentes időtartam alatt mért feszültség effektiv értékének logaritmikus viszonyát rajzoltuk fel. A méréseket "lapos" és "adatcsatorna" szürők beiktatásával végeztük. Fenti szürők jellemzői a 4.3 sz. pontban megtalálhatók. A 31. sz. ábrán felrajzoltuk egy Crossbar központon átmenő összeköttetésen meghatározott empirikus amplitudósürüségfüggvényt.

Vizsgált folyamatunkról feltesszük, hogy ergodikus sztochasztikus folyamat.



29. sz. ábra

Ergodikus folyamatokra alkalmazható Birkhoff tétele, mely szerint; ha tetszőleges ξ_t folyamatról tudjuk azt, hogy a távoli időpontokban független értékeket vesz fel, tehát

Valószínüség →

Rotell/Kopos/

/adat/

Gauss

30.sz.ábra

$20 \log \frac{u}{u_{eff}}$ [dB]

ha:

$$\left| t_i - t_{i+1} \right| > \text{c konstans, akkor} \qquad /4.1/$$

ξ_{t_i} és $\xi_{t_{i+1}}$ független. Ebben az esetben ki lehet mutatni, hogy

$$\lim_{n \to \infty} \frac{\xi_{t1} + \xi_{t2} + \ldots + \xi_{tn}}{n} = M / \xi_t /, \qquad /4.2/$$

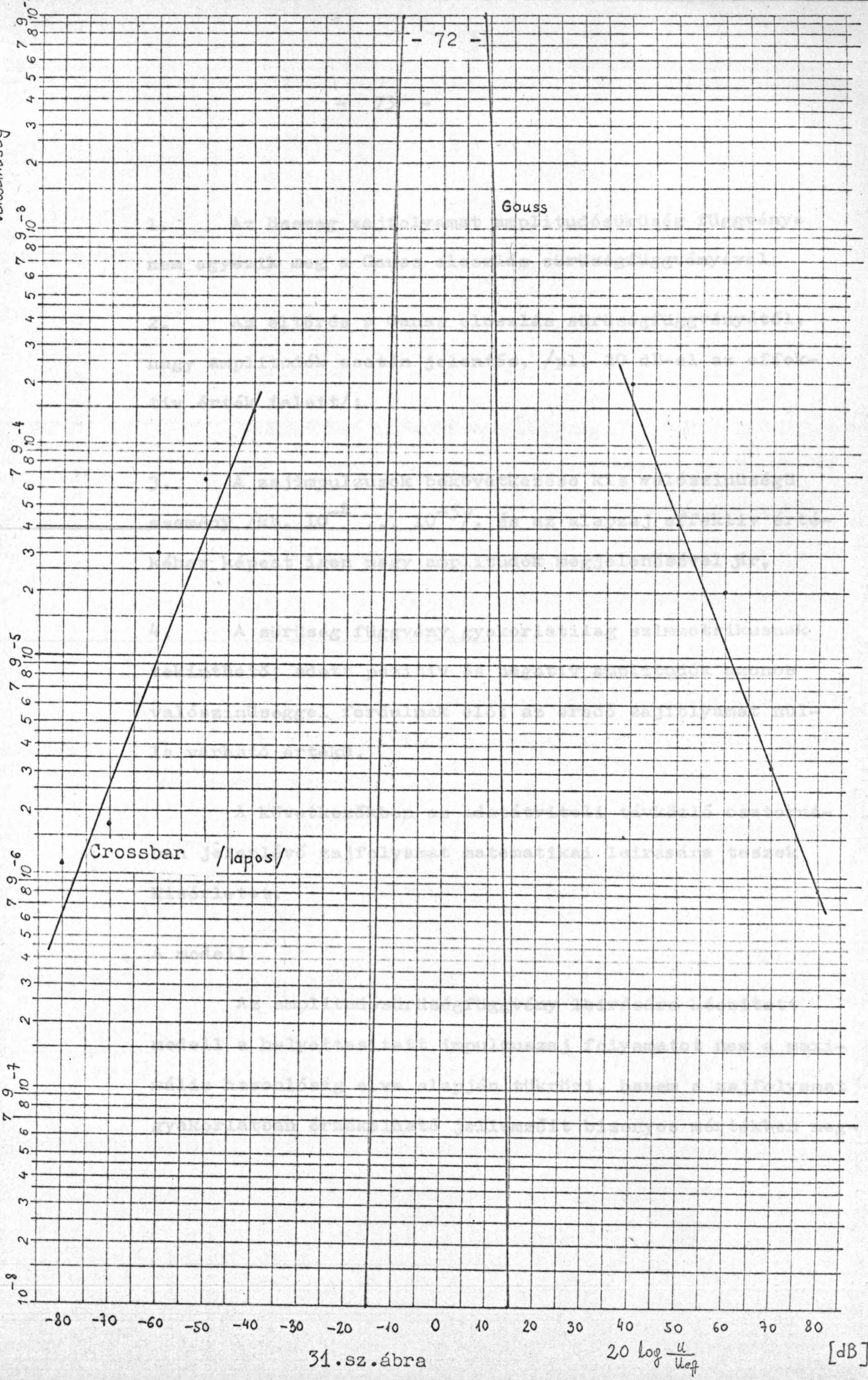
ahol $M/\xi_t/$ a ξ_t valószinüségi változó várható értéke, ami a stacionaritás miatt nem függ t-től.

Ez a feltétel lehetővé teszi $M/\xi_t/$ becslését, a

$$\frac{\xi_{t1} + \xi_{t2} + \ldots + \xi_{tn}}{n} \qquad /4.3/$$

kifejezés segitségével. Fenti eredményeket az eredő sürüségfüggvény - pontosabban a különböző egyedi mérések során meghatározott sürüségfüggvények - várható értékének meghatározásánál figyelembe vettük.

Az empirikus sürüségfüggvények ismeretében az alábbi megállapitásokat tesszük:


valószínüség
Gauss
Crossbar /lapos/
-80 -70 -60 -50 -40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40 50 60 70 80
20 log u/ueff [dB]

31.sz.ábra

1. Az összeg zajfolyamat amplitudósürüség függvénye nem egyezik meg a Gauss eloszlás sürüségfüggvényével;

2. Az eltérés a Gauss eloszlás sürüségfüggvényétől, nagy amplitudók esetén jelentős, /pl. 20 dB-el az effektiv érték felett/;

3. A zajimpulzusok bekövetkezése kis valószinüségü esemény /kb. 10^{-4} ... 10^{-5}/, és az alapzaj effektiv értékéhez képest igen nagy amplitudók megjelenésével jár,

4. A sürüség függvény gyakorlatilag szimmetrikusnak tekinthető; adott pozitiv és negativ amplitudók azonos valószinüséggel fordulnak elő; az eredő zajfolyamat nulla várható értékü.

A következőkben az adatátviteli távközlő csatornában jelenlévő zajfolyamat matematikai leirására teszek kisérletet.

A modell

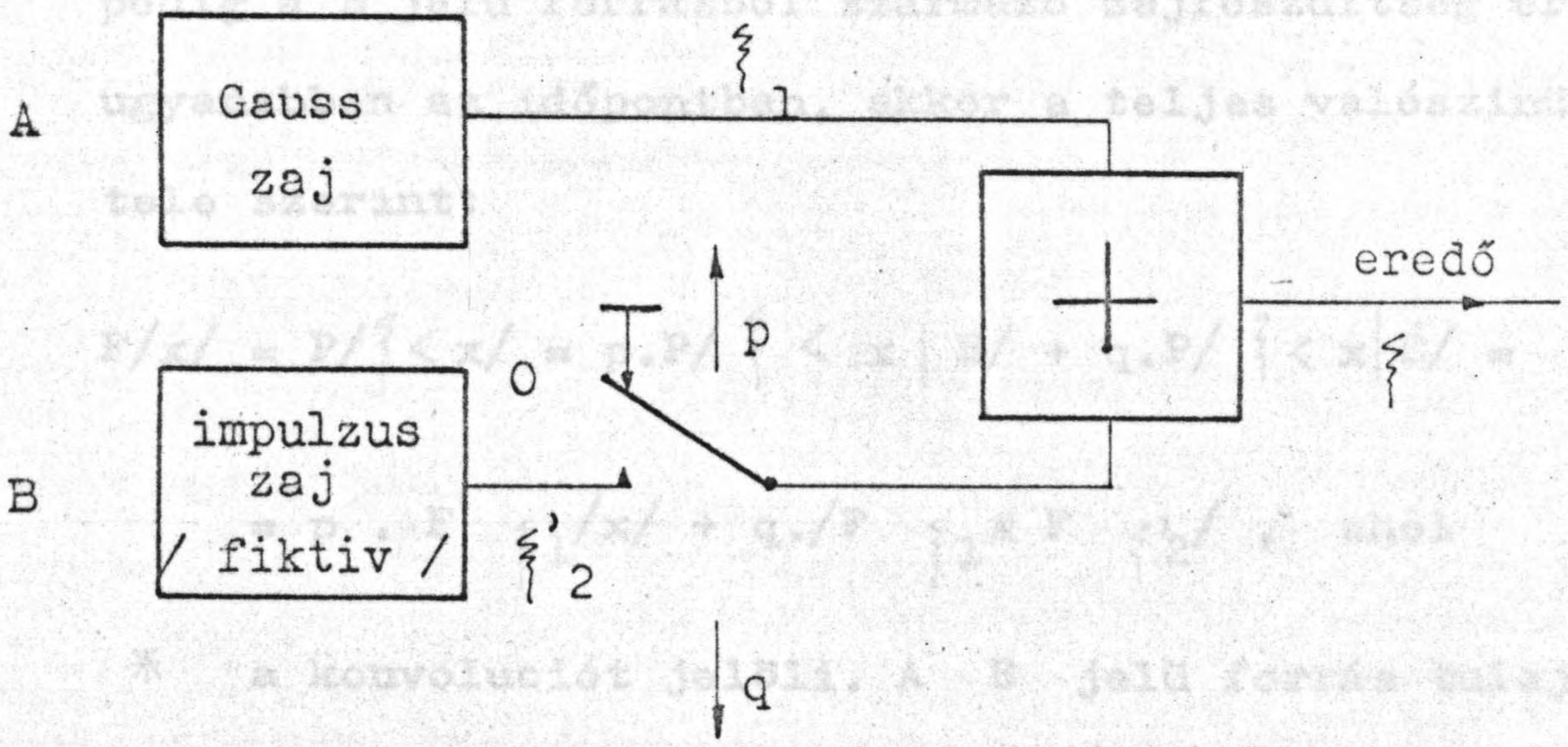
Az amplitudósürüségfüggvény leirására készitett modell a helyettesitett impulzuszaj folyamatot nem a maximális hasonlóság elve alapján tükrözi, hanem a zajfolyamat gyakorlatban érzékelhető jellemzőit bizonyos mértékben meg-

változtatva /kiemelve/ ugy, hogy megkönnyitse a folyamat - adatátviteli szempontból történő - tanulmányozását.

A kidolgozott modellel szemben az alábbi legfontosabb követelményeket támasztjuk:

- fizikailag szemléletes legyen,
- minél jobban jellemezze a zajfolyamat fizikai strukturáját, il. az amplitudósürüségfüggvényt,
- legyen matematikailag könnyen kezelhető,
- a modellben szereplő paraméterek lehetőleg méréssel legyenek meghatározhatók.

A távközlő csatornában megjelenő zaj két additiv - A és B jelü - forrásból származik. A zaj modellt a 32. sz. ábrán rajzoltuk fel.



32. sz. ábra

Az A jelü forrásból származó folyamat Gauss zaj m = 0 várható értékkel és σ_1 szórással. A B jelü zaj forrás egy megadott bekapcsolási időtartamra kapcsolja a zajt a csatornára.

Jelöljük azt az esetményt, hogy a B jelü forrás kikapcsolt állapotban van E-vel, azt az esetményt, hogy be van kapcsolva É-vel. Ebben az esetben:

$$P/E/ = p = 1 - q, \qquad /4.4/$$

$$P/\acute{E}/ = q. \qquad /4.5/$$

Ha ξ jelöli a zajfeszültség pillanat értékét egy rögzitett időpontban; ξ_1 az A /gaussi/ forrásból származó, ξ'_2 pedig a B jelü forrásból származó zajfeszültség értékét ugyanabban az időpontban, akkor a teljes valószinüség tétele szerint:

$$F/x/ = P/\xi < x/ = p.P/\xi < x \mid E/ + q.P/\xi < x \mid \acute{E}/ =$$

$$= p \cdot F_{\xi_1}/x/ + q./F_{\xi_1} * F_{\xi'_2}/ , \quad \text{ahol} \qquad /4.6/$$

$*$ a konvolúciót jelöli. A B jelü forrás tulajdonképpen fiktiv forrás. A gyakorlatban ξ'_2 jelet előállitó fiktiv forrás és a kapcsoló együttesen jelenik meg, és igy lesz ξ'_2 zajból impulzus zaj.

Ha a B zaj forrásból származó ξ'_2 feszültségről feltennénk, hogy ξ_1-hez hasonlóan szintén Gauss eloszlású, akkor az eredő zajfeszültség $\xi_1 + \xi'_2$ is Gauss eloszlású lenne. A mért empirikus sürüségfüggvény ismeretében ez a feltevés azonban nem helytálló. Az empirikus összeg sürüségfüggvények alapján az várható, hogy $F_{\xi'_2}/x/$ keverék eloszlás, mégpedig egy pozitiv /F_2/ illetve egy negativ /F_3/ várható értékü normális eloszlásé 1/2 sulyozással, azaz:

$$F/x/ = p.F_{\xi_1}/x/ + q.\left[1/2\left(F_{\xi_1} * F_2 \right) + 1/2\left(F_{\xi_1} * F_3\right)\right] \quad /4.7/$$

sürüségfüggvényekre áttérve:

$$f_{\xi}/x/ = p.f_1/x/ + q/2.f_2/x/ + q/2 \; . \; f_3/x/, \quad \text{ahol} \quad /4.8/$$

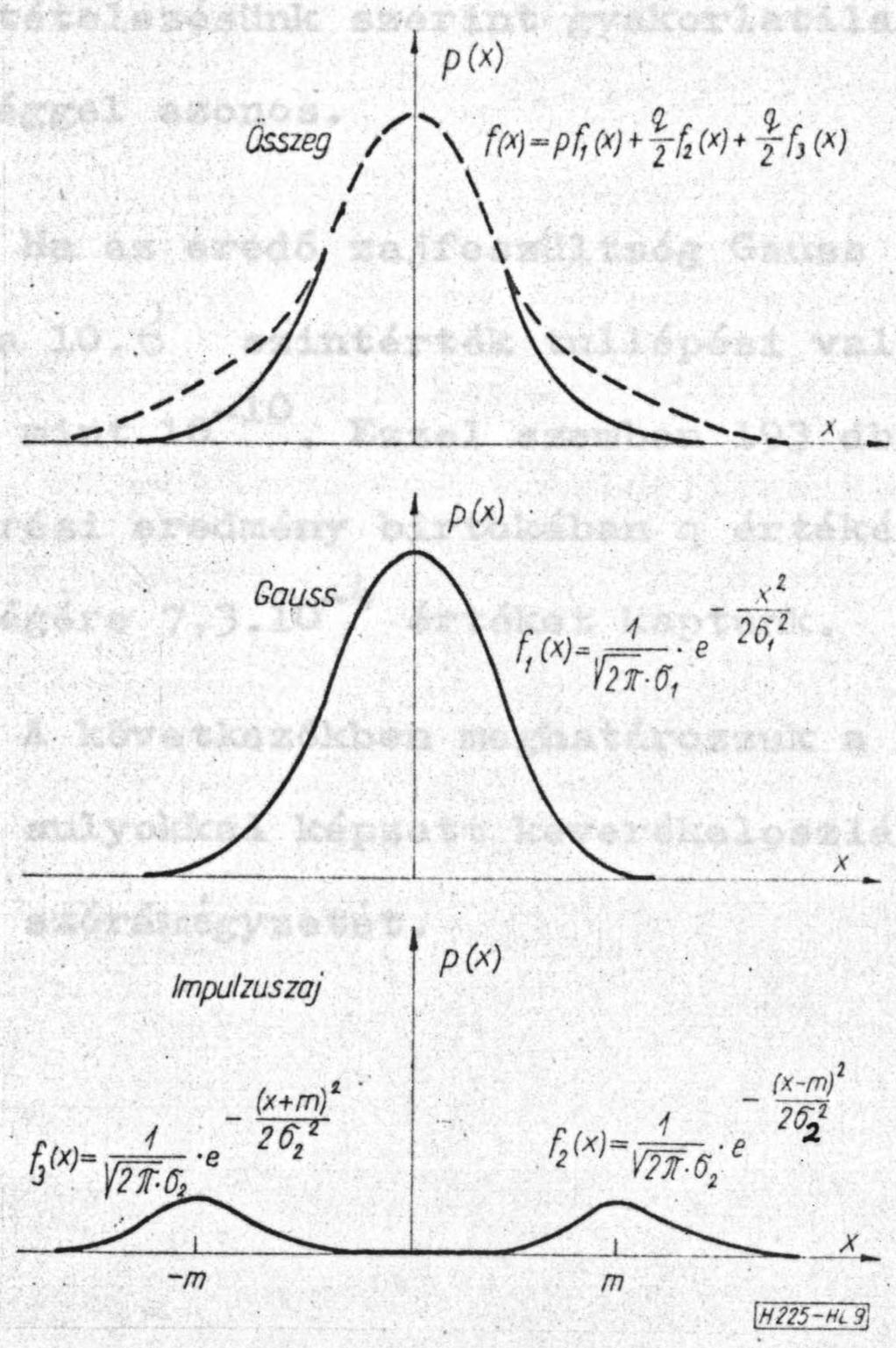
$$f_1/x/ = \frac{1}{\sigma_1 . \sqrt{2.\pi}} \cdot e^{\frac{x^2}{2.\sigma_1^2}} \quad /4.9/$$

$$f_2/x/ = \frac{1}{\sigma_2 . \sqrt{2.\pi}} \cdot e^{-\frac{/x-m/^2}{2.\sigma_2^2}} \quad /4.10/$$

$$f_3/x/ = \frac{1}{\sigma_2 \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{\frac{-/x+m/^2}{2 \cdot \sigma_2^2}} \qquad /4.11/$$

Az $f_1/x/$, $f_2/x/$, $f_3/x/$ és $f/x/$ sűrűségfüggvényeket a 33. sz. ábrán felrajzoltuk.

Feltételezzük, hogy az eredő zajfeszültség három normális eloszlású feszültség keveréke és $f/x/$ - az eredő feszültség sűrűségfüggvénye - az alábbi négy paraméter függvénye:



33.sz. ábra

1. p = annak a valószinüsége, hogy a vizsgált idő-
pontban a B jelü forrás kikapcsolt állapotban van.

2. m = a zajimpulzusok amplitudójának várható értéke,

3. δ_2 = a zajimpulzusok amplitudójának szórása,

4. δ_1 = a Gauss zaj szórása.

q értékét méréssel is meghatároztuk. A mérés során megmértük azt az eredő időt, mely alatt a zajimpulzusok feszültsége egyenlő, vagy nagyobb $10.u_{eff}$. A mérés időtartamának ismeretében a tullépés relativ gyakorisága meghatározható; ez feltételezésünk szerint gyakorlatilag a tullépési valószinüséggel azonos.

Ha az eredő zajfeszültség Gauss zajból származna, akkor a $10.\delta$ szintérték tullépési valószinüsége kisebb lenne, mint 10^{-10}. Ezzel szemben 193 db, egyenként 15 perces mérési eredmény birtokában q értékére, a tullépés valószinüségére $7{,}3.10^{-4}$ értéket kaptunk.

A következőkben meghatározzuk a két Gauss eloszlás p és q sulyokkal képzett keverékeloszlásának várható értékét és szórásnégyzetét.

A teljes várható érték tétele értelmében [35] ; ha A_i / i = 1, 2, .../ teljes esemény-rendszer, azaz:

$$\sum_i P\,/A_i/ = 1 \qquad /4.12/$$

és ha minden i-re létezik az $M/\xi \mid A_i/$ feltételes várható érték, akkor $M/\xi/$ is létezik és

$$M/\xi/ = \sum_i P/A_i/ \cdot M/\xi \mid A_i/ \cdot \qquad /4.13/$$

Ugyancsak a teljes várható érték tételének alkalmazásával ξ szórásnégyzete:

$$D^2/\xi/ = \sum_i P/A_i/ . M/\xi^2 \mid A_i/ - \left(\sum_i P/A_i/ . M/\xi \mid A_i/\right)^2 . \qquad /4.14/$$

Esetünkben az A_1 = E esemény azt jelenti, hogy az impulzuszaj forrás kikapcsolt állapotban van, mig A_2 = É esemény az impulzuszaj forrás bekapcsolt állapotát jelöli.

Ekkor:

$$P/A_1/ = P/E/ = p, \qquad /4.15/$$

$$P/A_2/ = P/É/ = q = 1 - p \quad . \qquad /4.16/$$

A fentieket figyelembevéve a következőket kapjuk:

$$M/\xi/ = p.0 + q/2\cdot(m-m) = 0, \qquad /4.17/$$

$$D^2/\xi/ = p.\sigma_1^2 + 2.\frac{q}{2}/\sigma_2^2 + m^2/ =$$

$$= p\cdot\sigma_1^2 + q.\sigma_2^2 + q.m^2 \quad . \qquad /4.18/$$

Az eredő zajfolyamat várható értéke - az egyenkomponens - nulla.

Tekintsük a zajimpulzus csucsfeszültségére korábban kapott összefüggésünket /Bennet, Davey/:

$$U_{cs} = \text{konst} \int_0^\infty G/\omega/^{\frac{1}{2}}\, d\omega \quad . \qquad /4.19/$$

Az impulzuszaj modellben a zajimpulzus amplitudójának várható értéke m; és emiatt: /feltételezésünk szerint/

$$m = \text{konst} \int_0^\infty G/\omega/^{\frac{1}{2}}\, d\omega = U_{cs} \quad . \qquad /4.20/$$

Elméleti és gyakorlati szempontból is alkalmazhatónak látszik ennek a modellnek egy olyan általánositása, amelyben az impulzuszaj az A_1, A_2 ... A_n zaj forrásokból származik, amelyek közül a k-dik p_k valószinüséggel van bekap-

csolva. Indokoltnak látszik az a feltevés, hogy a zaj-források közül egyszerre legfeljebb egy van bekapcsolva.

A ξ_t impulzuszaj folyamat amplitudósürüség függvénye /keverék/ ezesetben a következő:

$$f/x/ = \sum_{k=1}^{n} p_k \cdot \frac{e^{\frac{-/x-m_k/^2}{2.\sigma_k^2}}}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_k} , \qquad /4.22/$$

ahol $\sum_{k=1}^{n} p_k = 1, \quad p_k > 0; \quad 0 < m_1 < \ldots < m_n,$

$\sigma_k > 0$ konstansok.

f/x/ tehát Gauss féle sürüségfüggvények p_k sulyokkal vett keveréke.

A következőkben a keverékeloszlás p_k, m_k, σ_k értékeit határozzuk meg. Problémánk a következő képpen fogalmazható meg.

Ha egy empirikusan megadott valószinüségi sürüségfüggvény felfogható, mint különböző paraméterü normális sürüségfüggvények keveréke - ahol a sulyok konstansok - hogyan lehet meghatározni a komponenseket?

Analitikus formában problémánk igy hangzik:

$$f/x/ = \sum_{k=1}^{n} p_k \cdot \frac{e^{-\frac{/x-m_k/^2}{2.\sigma_k^2}}}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_k} \quad \text{ismeretében} \quad /4.23/$$

hogyan határozhatók meg egyértelmüen p_k, m_k, σ_k konstansok értékei.

Fenti konstansok meghatározására alkalmazott eljárást az eloszlás, ill. sürüség függvények keveréke összetevőkre bontásának nevezik. A témát összefoglalóan és gyakorlatilag is kielégitően G. Doetsch tárgyalta [48.] .

A komponensekre bontást ő nevezte el a Fourier-analizis mintájára "Gauss analizisnek". Medgyesi Pál [49.] -ben közli az f/x/ sürüségfüggvény explicit előállitását Taylor sor formájában:

A következőkben az elvégzett számitások eredményei kerülnek ismertetésre. A cél az volt, hogy az elmélet keretein belül maradva, olyan alakban adjuk meg f/x/ közeli-

tését, mely a lehető legegyszerübb, és ilymódon a mérnöki gyakorlatban könnyen kezelhető. Emiatt a fent említett módszerek egyikének alkalmazása sem látszott célszerünek.

Számitógépes vizsgálatok

A modell alkalmazhatóságának, illetve a mérések alkalmával meghatározott empirikus sürüségfüggvény és a modellben szereplő keverékeloszlásból meghatározott elméleti sürüségfüggvény közötti eltérés nagyságának meghatározása, valamint a keverékeloszlás paramétereinek becslése céljából számitógépes módszer került kidolgozásra /ELTE TTK Valószinüségszámitás tsz/ [45].

A számitógépes program alkalmazásával - az empirikus amplitudó sürüségfüggvény ismeretében - meghatároztuk az impulzuszaj elméleti amplitudósürüségfüggvényének értékeit, az empirikus sürüségfüggvény és a keverék-eloszlás sürüségfüggvényének értékei közötti eltérést, a relativ eltérést és a keverékeloszlás paramétereit.

Az impulzuszaj amplitudó-sürüségfüggvény közelitését a következő alakban keressük:

$$f/x/ = q_I \cdot \frac{e^{\frac{-/x-m_I/^2}{2.\sigma_I^2}}}{\sqrt{2\pi}\cdot\sigma_I} + q_{II} \cdot \frac{e^{\frac{-/x-mII/^2}{2\cdot\sigma_{II}^2}}}{\sqrt{2\pi}\cdot\sigma_{II}} +$$

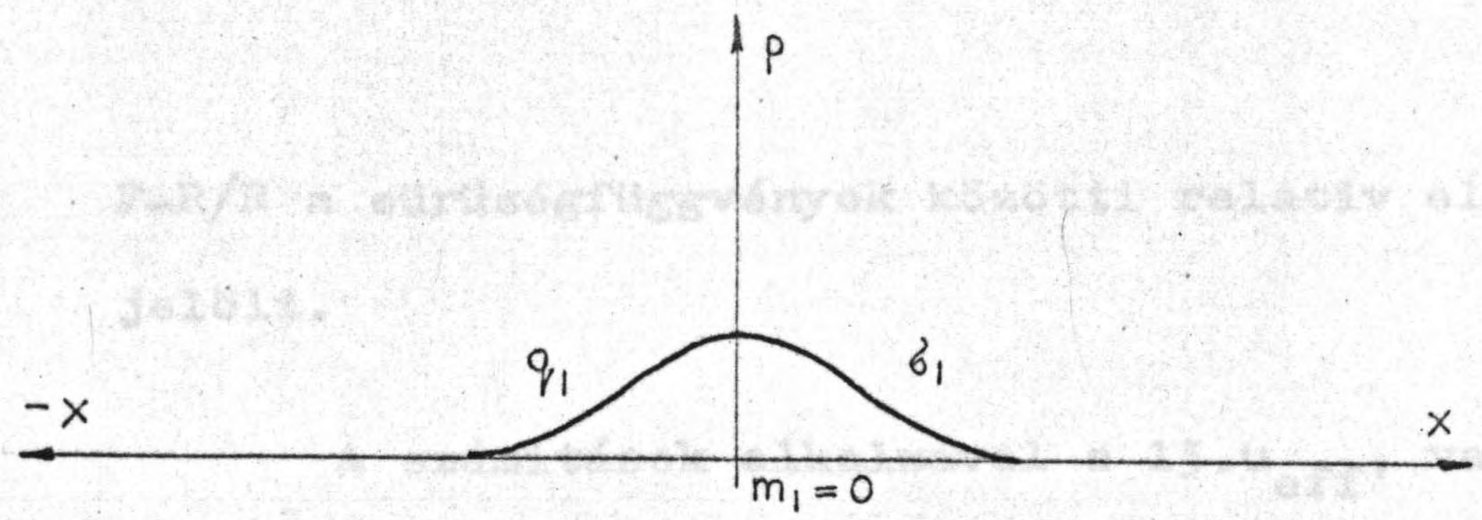
$$+ q_{II} \cdot \frac{e^{\frac{-/x+m_{II}/^2}{2.\sigma_{II}^2}}}{\sqrt{2\pi}\cdot\sigma_{II}} \cdot \qquad /4.24/$$

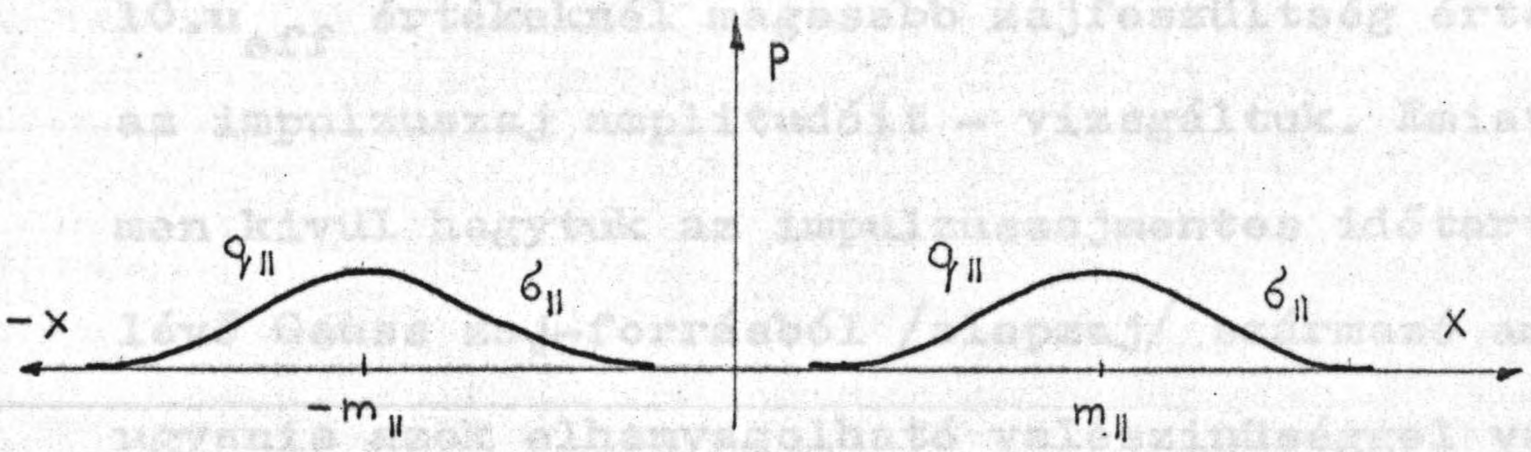
A paraméterek meghatározása ugy történt, hogy a mért relativ gyakoriságoktól való sulyozott négyzetes eltérés minimális legyen.

A sürüségfüggvényeket a 34. sz. ábrán tüntettük fel.

Az impulzuszaj, három normális eloszlásu feszültség keveréke, és $f_{imp}/x/$- az impulzuszaj amplitudó sürüségfüggvénye - az alábbi öt paraméter függvénye:

1. σ_I; a $m_I = 0$ várható értékü folyamat szórása,
2. q_I: a σ_I szórásu, nulla várható értékü folyamat előfordulásának a valószinüsége;
3. m_{II} : a zajimpulzusok amplitudójának várható értéke,
4. σ_{II} : a zajimpulzusok amplitudójának szórása,
5. q_{II} : a σ_{II} szórású és m_{II} várható értékü zajimpulzusok előfordulásának valószinüsége .





34. sz. ábra

A vizsgálatokat Rotary tipusu távbeszélő központon átmenő összeköttetésekben keletkező impulzuszaj folyamatokra végeztük el, széles /flat/ és adatcsatorna szürő állásokban. A 4.1 sz. táblázat a széles, mig a 4.2 sz. táblázat az adatcsatorna szürővel végrehajtott mérések eredményeinek számitógépes vizsgálata alkalmával kapott adatokat tartalmazza. A táblázatokban x; a pillanatnyi amplitudó és a zajfeszültség effektiv értékének viszonyát jelzi. R az x megmért amplitudóhoz tartozó előfordulási valószinüségeket, F a keverék-eloszlás értékeit, F-R az eltérést,

F-R/R a sürüségfüggvények közötti relativ eltérést jelöli.

A számitások alkalmával a $15.u_{eff}$, valamint a $10.u_{eff}$ értékeknél magasabb zajfeszültség értékeit - az impulzuszaj amplitudóit - vizsgáltuk. Emiatt figyelmen kivül hagytuk az impulzuszajmentes időtartamban jelenlévő Gauss zaj-forrásból /alapzaj/ származó amplitudókat, ugyanis azok elhanyagolható valószinüséggel vannak jelen az impulzuszaj feszültség - amplitudóihoz képest az $U \geq 10 \cdot u_{eff}$ tartományban.

A keverékeoszlás paramétereire az alábbi értékeket kapjuk eredményül:

Rotary, széles szürőállás:

$$q_I = 0{,}122839666.10^{-2}$$

$$q_{II} = 0{,}979500225.10^{-4}$$

$$m_I = 0{,}137446551.10^{-9} \cong 0$$

$$m_{II} = 0{,}670263060.10^{2}$$

$$\sigma_1 = 0{,}157811537.10^{2}$$

$$\sigma_{II} = 0{,}260244737.10^{2}$$

" Flat"

X	R	F	F-R	$\frac{F-R}{R}$
15	0.26×10^{-4}	0.19699761×10^{-4}	$-0.603002395\times10^{-5}$	-0.231923998
20	0.11×10^{-4}	0.142038903×10^{-4}	0.320389033×10^{-5}	0.291262757
25	0.80×10^{-5}	0.926202724×10^{-5}	0.126202724×10^{-5}	0.157753405
30	0.48×10^{-5}	0.564351864×10^{-5}	0.843518638×10^{-6}	0.175733050
35	0.30×10^{-5}	0.335882208×10^{-5}	0.358822084×10^{-6}	0.119607361
40	0.30×10^{-5}	0.212604598×10^{-5}	$-0.873954021\times10^{-6}$	-0.291318007
50	0.19×10^{-5}	0.141749642×10^{-5}	$-0.482503576\times10^{-6}$	-0.253949251
60	0.14×10^{-5}	0.147033728×10^{-5}	0.703372822×10^{-7}	0.502409159×10^{-1}
70	0.13×10^{-5}	0.149341328×10^{-5}	0.193413281×10^{-6}	0.148779447
80	0.10×10^{-5}	0.132615319×10^{-5}	0.326153194×10^{-6}	0.326153194
90	0.10×10^{-5}	0.101698290×10^{-5}	0.169829015×10^{-7}	0.169829015×10^{-1}
100	0.80×10^{-6}	0.672874563×10^{-6}	$-0.127125437\times10^{-6}$	-0.158906797

4.1 sz. táblázat

" adat csatorna "

X	R	F	F-R	$\frac{F-R}{R}$
10	$0.65x10^{-5}$	$0.439490161x10^{-5}$	$-0.210509839x10^{-5}$	-0.323861291
15	$0.28x10^{-5}$	$0.357479394x10^{-5}$	$0.774793940x10^{-6}$	0.276712121
20	$0.15x10^{-5}$	$0.271057508x10^{-5}$	$0.121057508x10^{-5}$	0.807050053
25	$0.13x10^{-5}$	$0.195766397x10^{-5}$	$0.657663968x10^{-6}$	0.505895360
30	$0.12x10^{-5}$	$0.139731778x10^{-5}$	$0.197317780x10^{-6}$	0.164431483
35	$0.12x10^{-5}$	$0.103752105x10^{-5}$	$-0.162478948x10^{-6}$	-0.135399123
40	$0.11x10^{-5}$	$0.839278130x10^{-6}$	$-0.260721870x10^{-6}$	-0.237019882
50	$0.79x10^{-6}$	$0.713609537x10^{-6}$	$-0.763904629x10^{-7}$	$-0.966967885x10^{-1}$
60	$0.71x10^{-6}$	$0.694089440x10^{-6}$	$-0.159105603x10^{-7}$	$-0.224092398x10^{-1}$
70	$0.57x10^{-6}$	$0.652431502x10^{-6}$	$0.824315015x10^{-7}$	0.144616669
80	$0.45x10^{-6}$	$0.569002254x10^{-6}$	$0.119002254x10^{-6}$	0.264449454
90	$0.43x10^{-6}$	$0.457814044x10^{-6}$	$0.278140443x10^{-7}$	$0.646838241x10^{-1}$
100	$0.41x10^{-6}$	$0.339643256x10^{-6}$	$-0.703567440x10^{-7}$	-0.171601815

4.2 sz. táblázat

Rotary, adatcsatorna szürő;

$$q_1 = 0{,}202708417.10^{-3}$$

$$q_{II} = 0{,}606788779.10^{-4}$$

$$m_1 = 0{,}651475200.10^{-9} = 0$$

$$m_{II} = 0{,}582245121.10^{2}$$

$$\sigma_I = 0{,}161962515.10^{2}$$

$$\sigma_{II} = 0{,}350961626.10^{2} \ .$$

A közelités jóságát a relativ eltérések $\{(F - R)/R\}$ - a gyakorlat szempontjából - elhanyagolhatóan kicsiny értékei jellemzik.

Impulzuszaj folyamat áthaladása adatátviteli távközlő csatornán

Vizsgáljuk ξ_t impulzuszaj folyamatot. Tegyük fel, hogy ismert ξ_t-nek az

$$f/x/ = \sum_{k=1}^{n} p_i \cdot \varphi_i /x/$$

amplitudósürüségfüggvénye, ahol

$$\varphi_i = \frac{1}{\sqrt{2.\pi}\,\sigma_i} \cdot e^{-\frac{/X-m_i/^2}{2\cdot\sigma_i^2}} \qquad /4.25/$$

Bocsássuk át ξ_t impulzuszaj folyamatot adott csillapitásu, vagy csoportfutásiidő torzitásu SZ szürőn.

A szürő kimenetén megjelenő ξ_t^* folyamatot, illetve az

$$SZ: \quad \xi_t \longrightarrow \xi_t^*$$

transzformációt szeretnénk jellemezni. A kapott empirikus adatok ismeretében az várható, hogy ξ_t^* zajfolyamat $f^*/x/$ sürüségfüggvénye szintén Gauss függvények keveréke:

$$f/x/ = \sum_{k=1}^{n} p_i^* \cdot \varphi_i^*/x/ \quad .$$

Indokoltnak látszik a gyakorlatban az a feltevés, hogy ugyanazon szürő két különböző zajfolyamat kevert sürüségfüggvényének ugyanazon komponenseit azonos jelleggel /L: 4.27 egyenlet/ transzformálja.

Az SZ szürőhöz tartozó

$$SZ_{,T} : f \longrightarrow f^*$$

leképezés tehát azáltal jellemezhető, ha megadjuk, hogy egy adott valószinüségü, szórásu és várható értékü Gauss komponens hogyan transzformálódik.

Mivel három koordináta térbeli vektort határoz meg, tekinthetjük p, δ , m-t egy vektor három koordinátájának

és p^*, δ^*, m^*-t szintén. Elég tehát megadni a

$$h: \quad /p, \delta, m/ \longrightarrow / p^*, \delta^*, m^* /$$

vektor-vektor függvényt. A mérési eredményekből és elméleti megfontolásokból az várható, hogy ha az SZ szürő sávszélességét csökkentjük az impulzuszaj spektrumához képest, vagy az impulzuszaj spektrumában nagy csoportfutásiidő torzitást állitunk elő, akkor

$$/p^*, \delta^*, m^*/ \longrightarrow /0, 1, 0/ \quad . \qquad /4.27/$$

Eszerint a szürő hatására történő konvergencia kettős; egyrészt az impulzuszaj komponenseinek valószinüsége tart a nullához, másrészt a komponensek várható értéke tetszőlegesen kevéssel tér el a nullától. A vázolt impulzus zaj modell esetén a pozitiv és negativ várható értékü összetevők szimmetrikusan tartanak a nullához.

A konvergencia mértékére vonatkozóan, első közelitésben, elegendő az impulzuszaj előfordulási valószinüségének 0-hoz való konvergenciáját becsülni. Szélessávu és adatcsatorna szürők alkalmazása esetén a zaj impulzusok

komponenseinek előfordulási valószinüségei, a mérési adatok szerint:

$$p_i = 0{,}979.10^{-4}$$

$$p_i = 0{,}606.10^{-4} \quad .$$

A négypólus transzformáció hatásának gyakorlati jelentősége, hogy ismert m_1, $-m_1$, σ_1, p_1 paraméterü impulzus-zajok esetén a kivánt maximális /m_2/ és p_2 megadása után felirhatók a négypólus karakterisztikára a követelmények.

4.2 Számlált zajimpulzusok időbeli eloszlása

A 2. sz. fejezetben adatátviteli összeköttetésünket véges memóriájú BSC-nek tekintettük, melyben a kimeneten megjelenő hibák egymástól nem független véletlen események, hanem statisztikai függőséget mutatnak. A véges memóriáju BSC leirására szolgáló modellek közül a legismertebbet - Gilber modelljét - emlitettük. Feltételezésünk és a mérések eredményei szerint, végęs memóriáju BSC-ben a hibák megjelenését illetve csomósodását elsősorban az impulzuszaj jelenléte váltja ki.

A zajimpulzusok időbeli eloszlásával kapcsolatban kézenfekvőnek tünt az első vizsgálatok során az a hipotézis,

mely szerint az impulzuszaj Poisson folyamat. E feltevés igazolása azt jelentette volna, hogy a rögzitett küszöbszinten mért zajimpulzusok számát Poisson eloszlással, mig a zajimpulzusok közötti időtartamok eloszlását exponenciális eloszlással lehetett volna leirni. Mertz által javasolt impulzuszaj modell elveti a fenti hipotézist, és a hibamentes intervallumok eloszlására, valamint a zajimpulzusok zajcsomón belüli leirására hiperbolikus eloszlást ad meg.

A továbbiakban a számlált zajimpulzusok előfordulásának számát vizsgáljuk a 0-tól, t-ig terjedő időintervallumban. Esemény alatt a következőkben számlált zajimpulzus megjelenését értjük. Jelölje $\xi/t/$, a 0-tól t-ig terjedő intervallumban megjelenő számlált zajimpulzusok számát. $\xi/t/$ azokban az időpontokban amikor értéke változik csak növekedhet, méghozzá csak egész értékkel. Feltesszük, hogy folyamatunk időben homogén Poisson folyamat, amelyre teljesül az alábbi három feltétel [36.]

stacionaritás

markovitás

ritkaság .

Feltevéseink szerint a számlált zajimpulzusok teljesitik a három feltételt.

Markovitás azt jelenti, hogy a /T, T+t/ időszakaszban bekövetkező események száma nem függ attól, hányszor és hogyan következett be az esemény előzőleg. Vagyis, a /T, T+t/ időintervallumban, k esemény bekövetkezésének feltételes valószinüsége - az esemény T időpontig való bekövetkezésére vonatkozó bármely feltétel mellett - megegyezik a feltétel nélküli valószinüséggel. A markovitás az egymástól idegen intervallumokban bekövetkező számlált zajimpulzusok teljes függetlenségét jelenti.

A ritkaság azt a követelményt fejezi ki, hogy rövid időtartama alatt /számlálási holtidő/ gyakorlatilag kizárható két, vagy több esemény bekövetkezése.

Bizonyitott [36.], hogy ha a Poisson folyamatban egységnyi hosszuságu időintervallumban pozitiv valószinüséggel következik be esemény, de ugyanezen időtartam alatt végtelen számu esemény bekövetkezésének valószinüsége nulla, akkor létezik olyan λ pozitiv állandó, hogy

$$P_k/t/ = \frac{/\lambda \cdot t/^k . e^{-\lambda t}}{k!} , \quad k = 0, 1, 2, \ldots \qquad /4.27/^*$$

ahol, $P_k/t/$ jelöli a t idő alatt k esemény bekövetkezésének valószinüségét.

t idő alatt megjelenő számlált zajimpulzusok átlagos száma /várható értéke/:

$$M/\xi_t/ = \lambda.t \quad ; \quad \text{szórása} \qquad /4.28/$$

$$D/\xi_t/ = \sqrt{\lambda.t} \quad . \qquad /4.29/$$

Határozzuk meg, a számlált zajimpulzusok közötti véletlen hosszuságu ξ időszakasz eloszlás függvényét.

Feltesszük, hogy annak valószinüsége, hogy pl. 10 perces zajmentes időtartam után, a következő percben jelenik meg egy számlált zajimpulzus, megegyezik annak valószinüségével, hogy a vizsgálat során már az első perc eltelte után érzékelünk számlált zajimpulzust.

Az eloszlásfüggvény, melyre fenti feltételünk teljesül, az:

$$F/t/ = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda.t} & , \text{ ha } t \geq 0 \\ 0 & , \text{ ha } t < 0 \end{cases} \qquad /4.30/$$

exponenciális eloszlásfüggvény / $\lambda > 0$/. Ha ξ exponenciális eloszlású valószinüségi változó, akkor ξ sürüségfüggvénye:

$$f/t/ = \begin{cases} \lambda . e^{-\lambda . t} & , \text{ ha } t \geq 0 \\ 0 & , \text{ ha } t < 0 , \end{cases} \qquad /4.31/$$

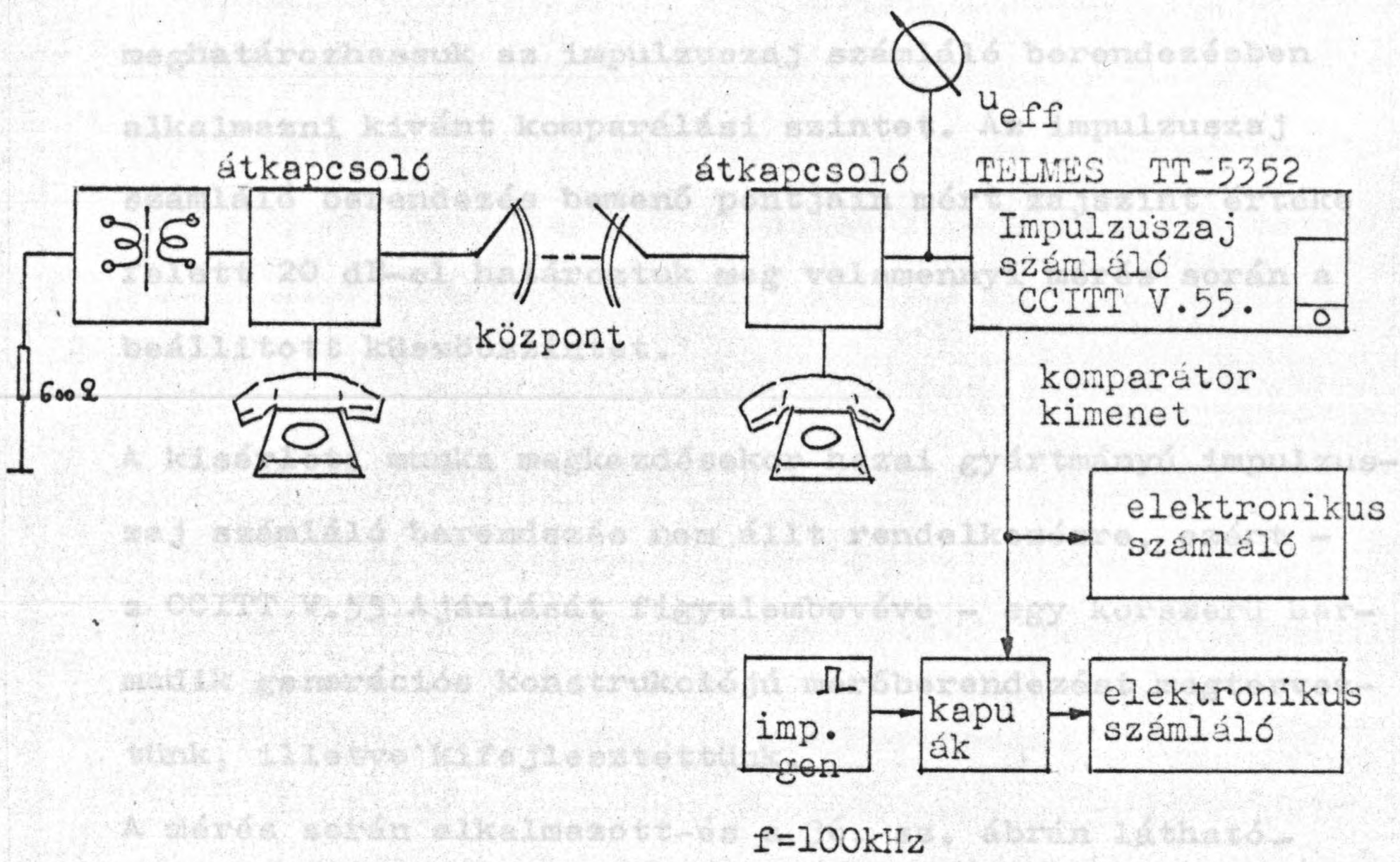
ξ várható értéke /számlált-zajimpulzus mentes időtartam várható értéke/:

$$M/\xi/ = \frac{1}{\lambda} \text{ , szórása } \quad D^2/\xi/ = \frac{1}{\lambda^2} . \qquad /4.32/$$

Mérések

E pont bevezető részében a számlált zajimpulzusok időbeni eloszlására vonatkozó hipotézist állitottuk fel. Feltételezés szerint; a gyakorlat szempontjából elhanyagolható mértékü hibát követünk el, akkor ha a számlált zajimpulzusokat homogén Poisson folyamatból származónak tekintjük. A zajimpulzusok és a számlált zajimpulzusok időbeni eloszlására vonatkozó mérési adatok alapján ellenőrizzük, hogy elfogadható-e feltevésünk vagy sem. Fenti vizsgálat céljából méréseket végeztünk a budapesti nyilvános

kapcsolt távbeszélőhálózaton. A kapcsolóközponton átmenő áramkör mérési elrendezése a 35. sz. ábrán látható.



35. sz. ábra

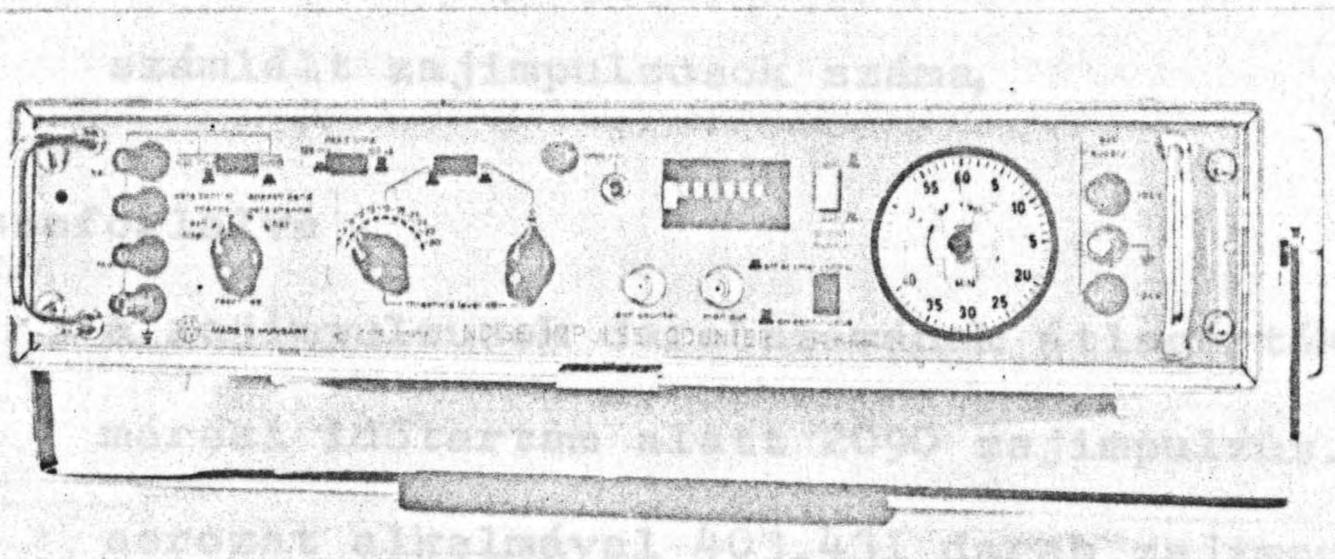
A vizsgált távbeszélő kapcsolóközpontok elektromechanikus felépitésüek /Rotary, Crossbar/. Az átkapcsoló egységek "Távbeszélő" állásaiban felépitettük a távbeszélő összeköttetést, majd "mérés" állásba kapcsoltunk át.

Az átkapcsolás után a tartóáramkör egyrészt a mérő transzformátoron, másrészt az impulzuszaj számláló ohmos tartó-

áramkörén át záródott. Az impulzuszaj számláló bemenő kapcsaihoz nagy bemenő impedanciájú /szimmetrikus/ psophométert csatlakoztattunk, hogy a zajszint ismeretében meghatározhassuk az impulzuszaj számláló berendezésben alkalmazni kivánt komparálási szintet. Az impulzuszaj számláló berendezés bemenő pontjain mért zajszint értéke felett 20 dB-el határoztuk meg valamennyi mérés során a beállitott küszöbszintet.

A kisérleti munka megkezdésekor hazai gyártmányú impulzuszaj számláló berendezés nem állt rendelkezésre, ezért - a CCITT V.55 Ajánlását figyelembevéve - egy korszerü harmadik generációs konstrukciójú mérőberendezést megterveztünk, illetve kifejlesztettünk.

A mérés során alkalmazott-és a 36. sz. ábrán látható-



36. sz. ábra

TT-5352 tipusú Impulzuszaj Számláló Berendezés fejlesztését a TELMES KTSz tervezőivel közösen végeztük.

A mérőberendezés az 1972. évi tavaszi Lipcsei Vásár-on aranyérmet nyert. A mérőberendezés műszaki jellemzői, rövid leirása, kapcsolási rajza a 4.3. sz. pontban található. A mérőberendezésben alkalmazott - számlálási holtidőt előállitó-kapcsolás szabadalmi leirása az 1.sz. mellékletben található.

Az impulzuszaj számláló berendezés alkalmazásával a mérés során az alábbi jellemzőket határoztuk meg, rögzitett küszöbszinten és "lapos" belső szürő állásban:

- zajimpulzusok száma, a mérőberendezés feszültség komparátor áramkörének kimenetén /számlálási holtidő nélkül/,
- zajimpulzusok összes időtartama,
- számlált zajimpulzusok száma,

Összefoglalva

1. a zajimpulzusok darabszámának átlagértéke, 15 perces mérési időtartam alatt 2090 zajimpulzus. A mérési sorozat alkalmával 403.431 darab zajimpulzust regisztráltunk /holtidő nélkül/,

2. számlált zajimpulzusok számának átlagértéke, 15 perces mérési időtartam alatt; 422 számlált zajimpulzus. A mérési sorozat tartama alatt 81.500 darab számlált zajimpulzus került regisztrálásra.

3. $P/ u \geq u_{komp}/$ valószinüség meghatározása során mértük a 403.431 darab zajimpulzus összidőtartamát, melynek értéke 103.25 sec. A mérés összeidőtartamának ismeretében /48,5 óra/ meghatároztuk fenti valószinüséget, melynek értéke $5,7.10^{-4}$. A zajimpulzusok amplitudói tehát a $10.u_{eff}$ feszültség, illetve annál nagyobb értéket az idő $5,7.10^{-4}$ részében vesznek fel.

4. Egy számlált zajimpulzus megjelenése esetén várható zajimpulzusok átlagos száma 5 db. Ennek megfelelően egy 125 msec értékü számlálási holtidőn belül átlagosan 5 db zajimpulzus megjelenése várható.

Előzőekben ismertetett mérési sorozat után arra keresünk választ, hogy a számlált zajimpulzusok számának eloszlását⊠ - a korábbi feltételezésnek megfelelően - közelithetjük -e Poisson eloszlással.

⊠ adott időtartamra vonatkoztatva

MAGYAR
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
KÖNYVTÁRA

Mi a valószinüsége annak, hogy az általunk megválasztott egységnyi hosszuságu /15 perc/ intervallumban impulzuszaj számláló berendezésünk éppen k számú számlált zajimpulzust érzékel? A kérdés megválaszolásához ismernünk kell λ értékét. λ paraméter értékét minden konkrét problémára vonatkozólag - mely Poisson eloszláshoz vezet - kisérletileg kell meghatároznunk.

A mérési összeállitás a korábban ismertetett esettel egyezett meg, azzal a különbséggel, hogy itt csak a negyedórás mérési intervallumba megjelenő számlált zajimpulzusok darabszámát regisztráltuk impulzuszaj számláló berendezés alkalmazásával. A méréseket "adatcsatorna" és "lapos" szürőkkel végeztük el. Adatcsatorna szürővel 140, lapos szürővel 142 db 15 perc időtartamu mérést végeztünk. Adatcsatorna szürővel végzett mérések során az eredő zaj átlagszintje -49 dBm, mig lapos szürővel -51 dBm értékü volt. Ennek megfelelően az alkalmazott küszöbszinteket /komparálási szinteket/ -29 dBm, illetve -31 dBm értékre állitottuk be.

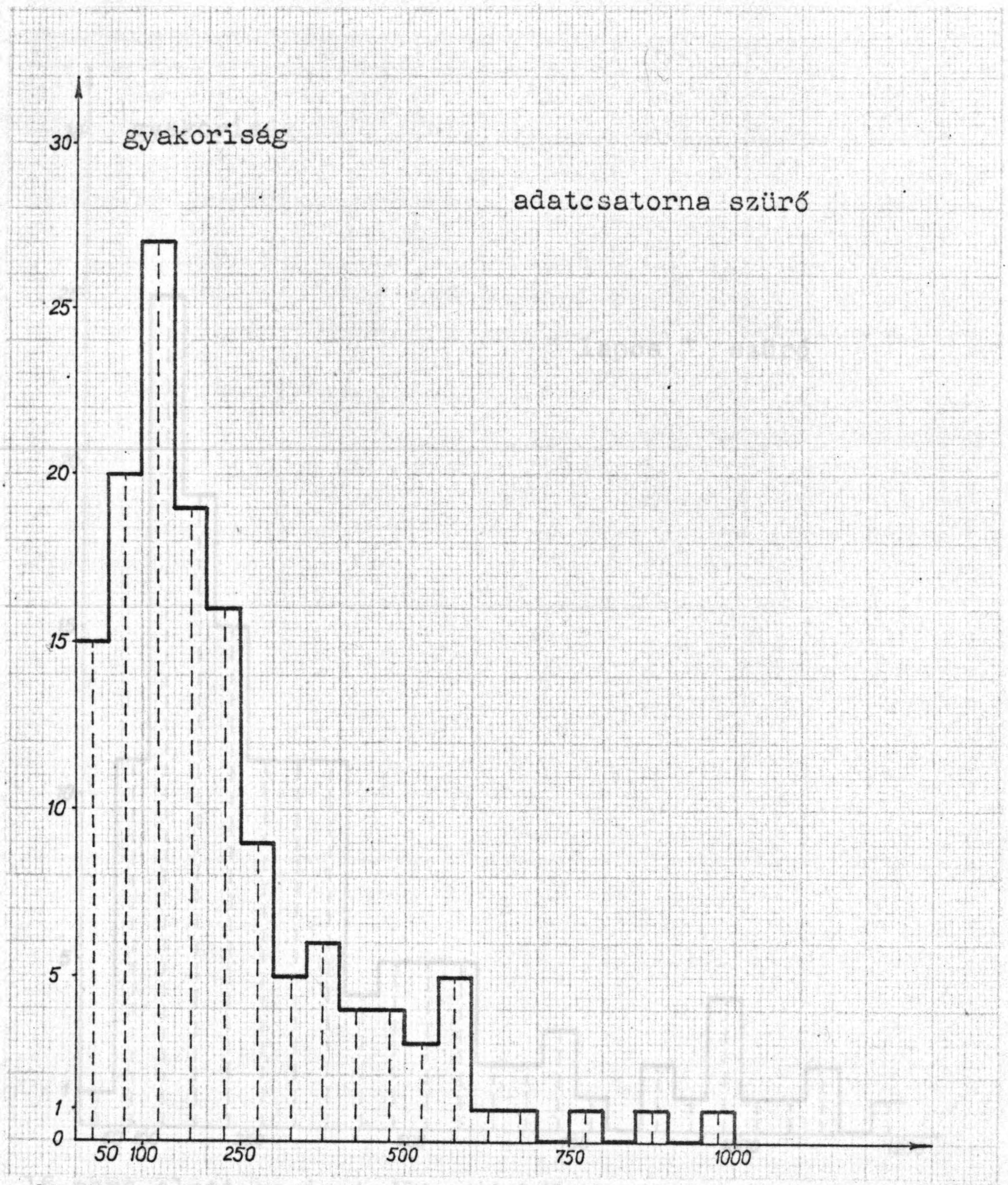
A mérési sorozat alkalmával meghatároztuk - rögzitett komparálási szint mellett - az egységül választot 15 perces időtartamú megfigyelési intervallumba eső számlált zajimpulzusok számát.Adatcsatorna szürővel végzett mérések alkalmával

kapott mérési eredmények ismeretében felrajzoltuk a 37. sz. ábrán a gyakoriségi hisztogramot.

Az y tengelyen, az x tengelyhez tartozó számlált zajimpulzus darabszám előfordulási gyakoriságát tüntettük fel. A 38. sz. ábrán, a lapos szürőkarakterisztikájú esetben mért gyakoriségi hisztogram látható. Adatcsatorna szürővel végzett mérési sorozat alkalmával meghatározott relativ gyakoriségi hisztogram a 39. sz. ábrán, mig az empirikus eloszlásfüggvény a 40. sz. ábrán látható.

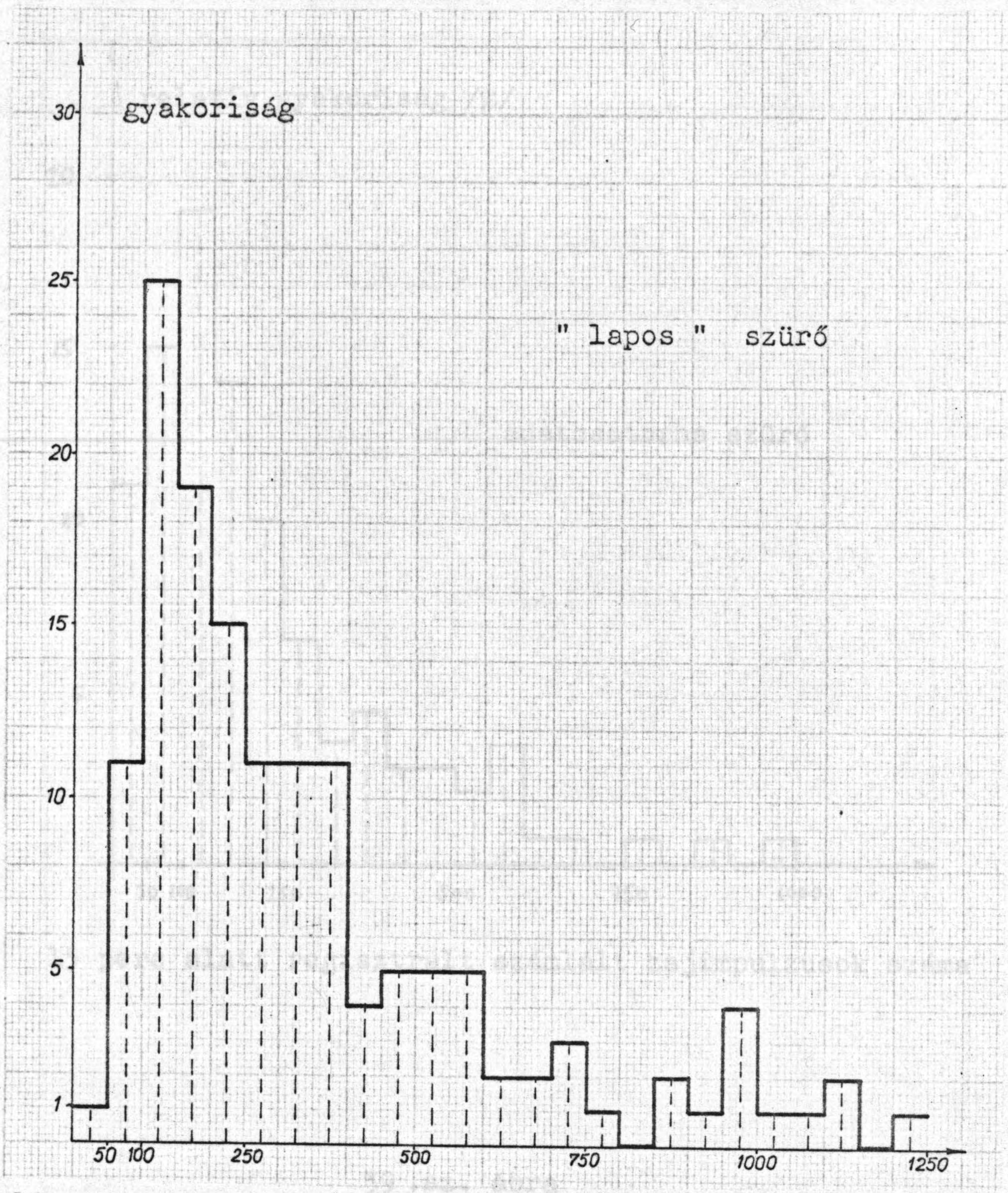
A 39. sz. ábrán feltüntetett relativ gyakoriségi hisztogram ismeretében meghatározhatjuk a számlált zajimpulzusok darabszámának empirikus várható értékét az egységül választott 15 perces intervallumon belül.

A mérések adatainak ismeretében a számlált zajimpulzusok időbeni eloszlására vonatkozó hipotézisünket ellenőrizzük. Az empirikus adatok ismeretében tekinthetjük-e a 15 perces időtartam alatt megjelenő számlált zajimpulzusokat időben homogén, λ eseménysürüségü Poisson folyamatból származónak? Ha igen, akkor az egységül választott időtartam alatt megjelenő számlált zajimpulzusok darabszámának eloszlását Poisson eloszlással irhatjuk le.



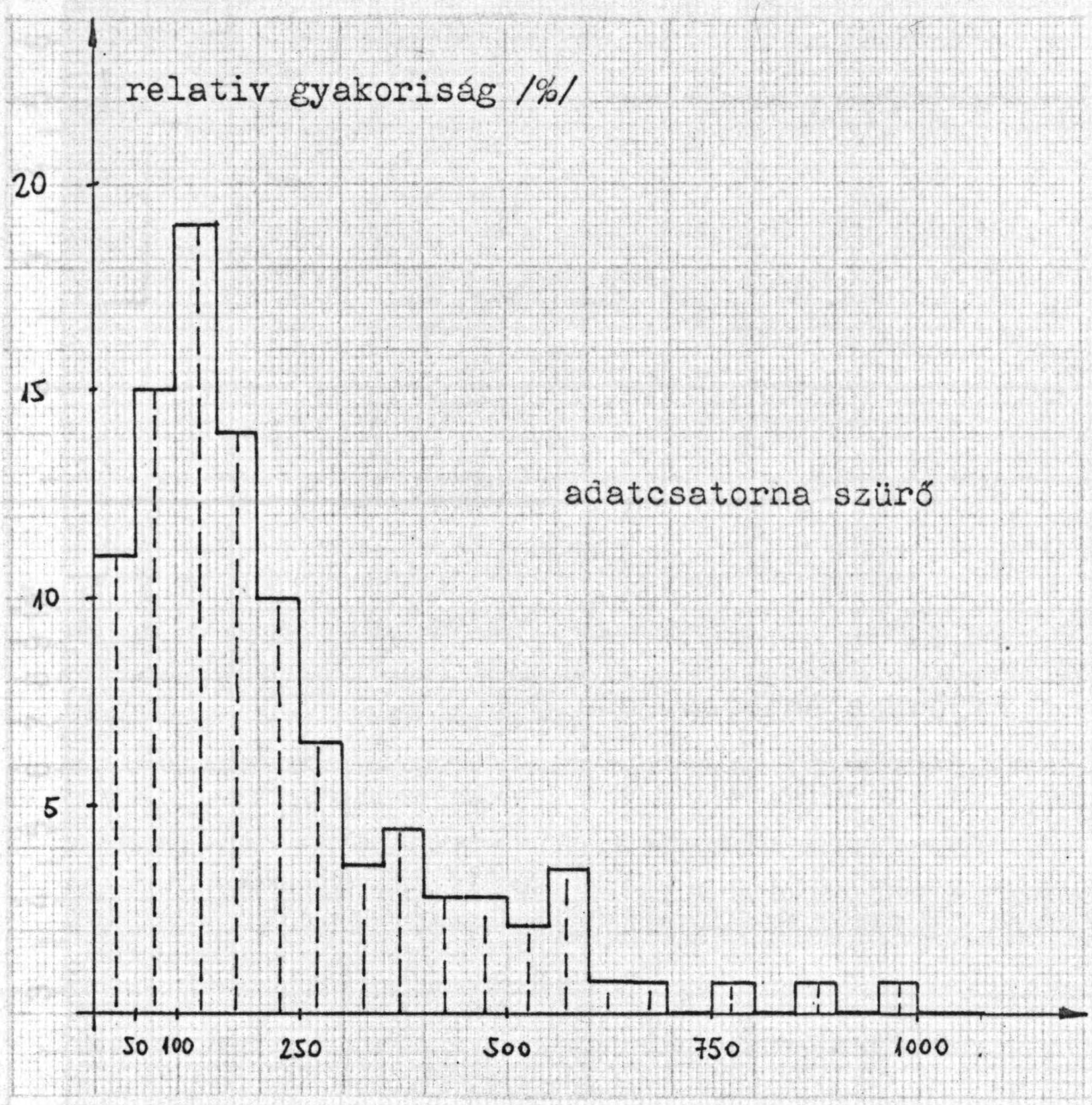
15 perc alatt regisztrált számlált zajimpulzusok száma

37.sz. ábra

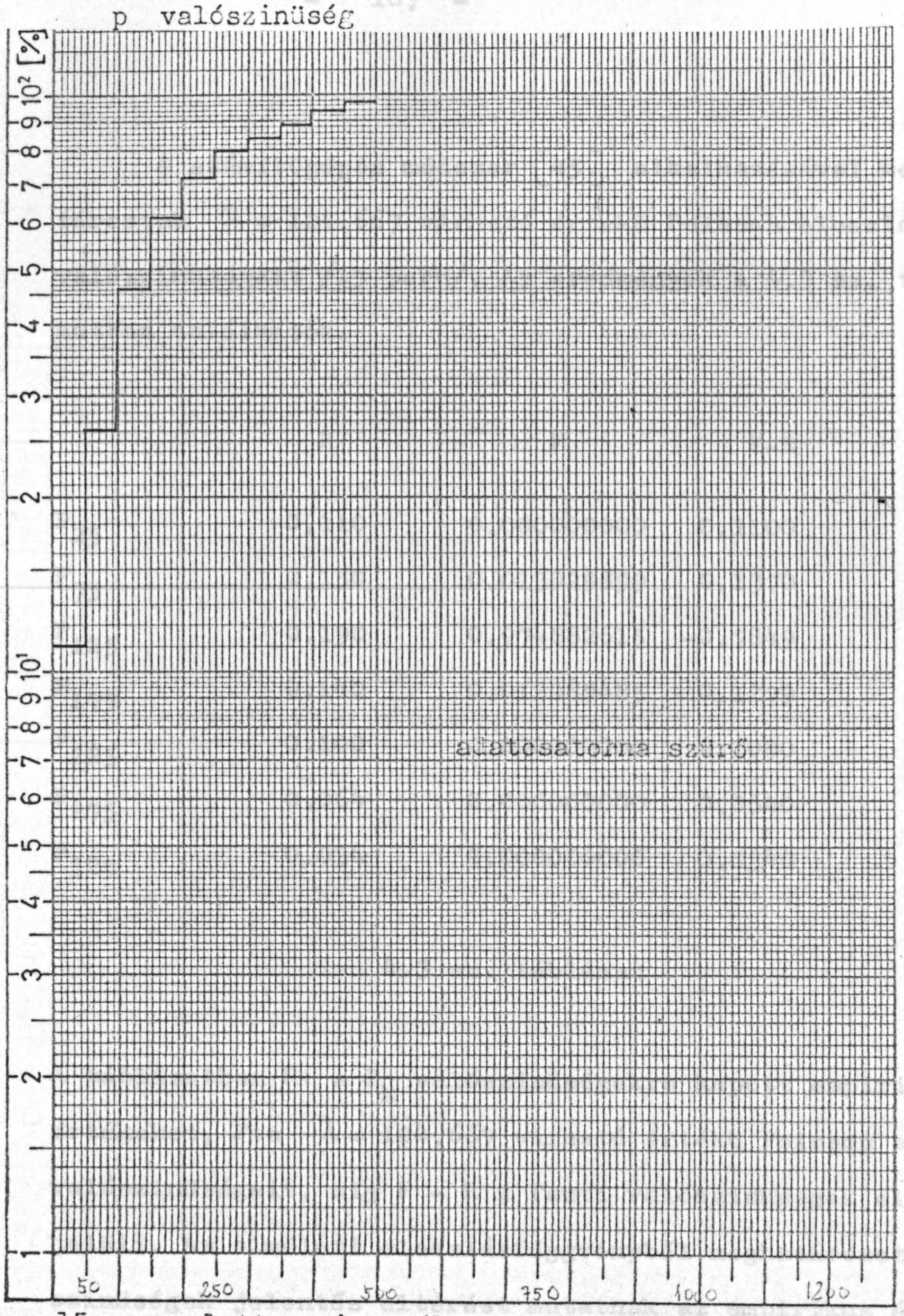


15 perc alatt regisztrált számlált zajimpulzusok száma

38.sz.ábra


relativ gyakoriság /%/
20
15
10
5
adatcsatorna szürő
50 100
250
500
750
1000
15 perc alatt regisztrált számlált zajimpulzusok száma

39 .sz. ábra



15 perc alatt regisztrált számlált zajimpulzusok száma

40.sz. ábra

A számitógépes módszer [45.] alkalmazásával meghatároztuk $\lambda = 124.667$ várható értékü Poisson eloszlás P_k valószinüségeit /15 perc/. Az eredmények a 4.3 sz. táblázatban találhatók.

	R	F	F-R
P_{25}	0,110	0.000000000	0.1100
P_{75}	0.150	0.013029899	0.1370
P_{125}	0.190	0.974882615	-0.7849
P_{175}	0.140	0.012087485	0.1279
P_{225}	0.100	0.000000000	0.1000
P_{275}	0.064	0.000000000	0.0640
P_{325}	0.034	0.000000000	0.0340

4.3 sz. táblázat

A táblázatban R: a P_k valószinüségekre kapott empirikus értékeket, F:a $\lambda = 124.667$ várható értékü Poisson eloszlás valószinüségeit, mig F - R a fenti valószinüségek eltérését jelöli. Az elméleti eloszlásfüggvényből meghatározott valószinüségek jelentős eltérést mutatnak az empirikus értékektől, igy hipotézisünket elvetjük.

A mérések eredményei azt mutatják tehát, hogy a számlált zajimpulzusok nem származhatnak időben homogén Poisson folyamatból.

4.3 TT-5352 tipusú Impulzuszaj Számláló Berendezés

A CCITT V.55. sz. Ajánlásának figyelembe vételével, a TELMES Müszergyártó KTSz - a szerző közremüködésével - fejlesztette ki a TT-5352 tipusu Impulzuszaj Számláló Berendezést.

A berendezés főbb müszaki jellemzői a következők:

- a berendezés minden alkalommal számol, ha olyan feszültség lép fel a bemenetén, mely a beállitott küszöbértéket meghaladja.
- a berendezés bemenetére érkező zajimpulzus polaritásától függetlenül müködik,
- A névleges bemenő impedancia 600 ohm, illetve átkapcsolhatóan olyan nagy, hogy az esetben a terhelő hatás kisebb, mint 0,1 dB.
- a bemenő áramkör földszimmetriája 60 dB.

- a berendezés küszöbszintje beállitható 3 dB-es lépésekben /± 0,5 dB-es türéssel/, -60 dB és 0 dB között.

  A küszöbszint a fent emlitett 3 dB-es lépcsőkön kivül, ± 3 dB-es tartományban, folyamatosan is szabályozható.

- a két polaritásra vonatkozó bemenő érzékenység nem különbözik jobban, mint 0,5 dB.

- 1000 Hz frekvenciájú, 0 dBm szintü szinuszos jellel "lapos" sulyozású szürővel hitelesitve, a berendezés bármely polaritásu négyszögjelet vagy olyan 50 msec időtartamü, 1,1 V csucsfeszültségü impulzust számol, mely impulzusok között 125 msec, vagy 100 /usec, számlálási holtidő elválasztás van.

- a berendezés -1 dB érzékenységi küszöbszint esetén, helyesen számlál minden impulzust abban az esetben, ha azok időtartama 50 /usec, de nem számlál, ha azok időtartama 20 /usec.

- a berendezés holtideje - megállapodás szerint - az az időtartam, melyen tul a berendezés ujabb zajimpulzust biztosan képes számlálni. A holtidőt az előzőleg regisztrált zajimpulzus kezdetétől számitjuk. A berendezés holtidői:

125 msec ± 25 msec, illetve 100 /usec.

± 20 /usec., átkapcsolhatóan.

"Lapos szürő" állásban a berendezés 275-3250 Hz frekvenciasávban ± 1dB-en belüli átvitelt biztosit / 1 kHz-re vonatkoztatva/. A fenti sávon kivül az átvitel olyan, hogy 20/usec vagy annál rövidebb időtartamú impulzusokat a berendezés nem érzékeli.

- a berendezés az alábbi beépitett belső szürőket tartalmazza.

  "beszédsávú adatcsatorna" szürő.

  1 kHz-re vonatkoztatva a szürő sávszélessége /3 dB-es pnntok/ 600-3000 Hz. A ± 1 dB-es pnntok, 750, illetve 2300 Hz-nál. 600 Hz alatt, ill. 3000 Hz felett a szürő csillapitása 18 dB/oktáv értékkel nő.

  "Adat visszajelző csatorna" szürő. 400 Hz-re vonatkoztatva a szürő sávszélessége /+ 1 dB ... -3 dB/ /300-500 Hz, 300 Hz alatt illetve 500 Hz felett a sávszürő záró karakterisztikája 18 dB/oktáv meredekségü.

- A szürők áteresztő irányú csillapitásának értékei olymértékben megegyeznek, hogy a különböző szürők alkalmazása esetén külön hitelesitésre nincs szükség.

- a berendezés hitelesitése, a beépitett 1 kHz-es frekvenciájú 1 mW teljesitményü, belső normál generátorról történik, melynek szint-ingadozása kisebb, mint ± 0,15 dB.

- A berendezés belső időzitő áramkört is tartalmaz, melynek alkalmazásával a mérés automatikusan kikapcsolható. Az időzités 5-60 perc között beállitható.

- A berendezéshez külső fejhallgató, vagy oszcilloszkóp csatlakoztatható, a mérés megzavarása nélkül,

- 100 /usec holtidő, alkalmazása esetén, a berendezéshez külső elektronikus számlálót kell csatlakoztatni,

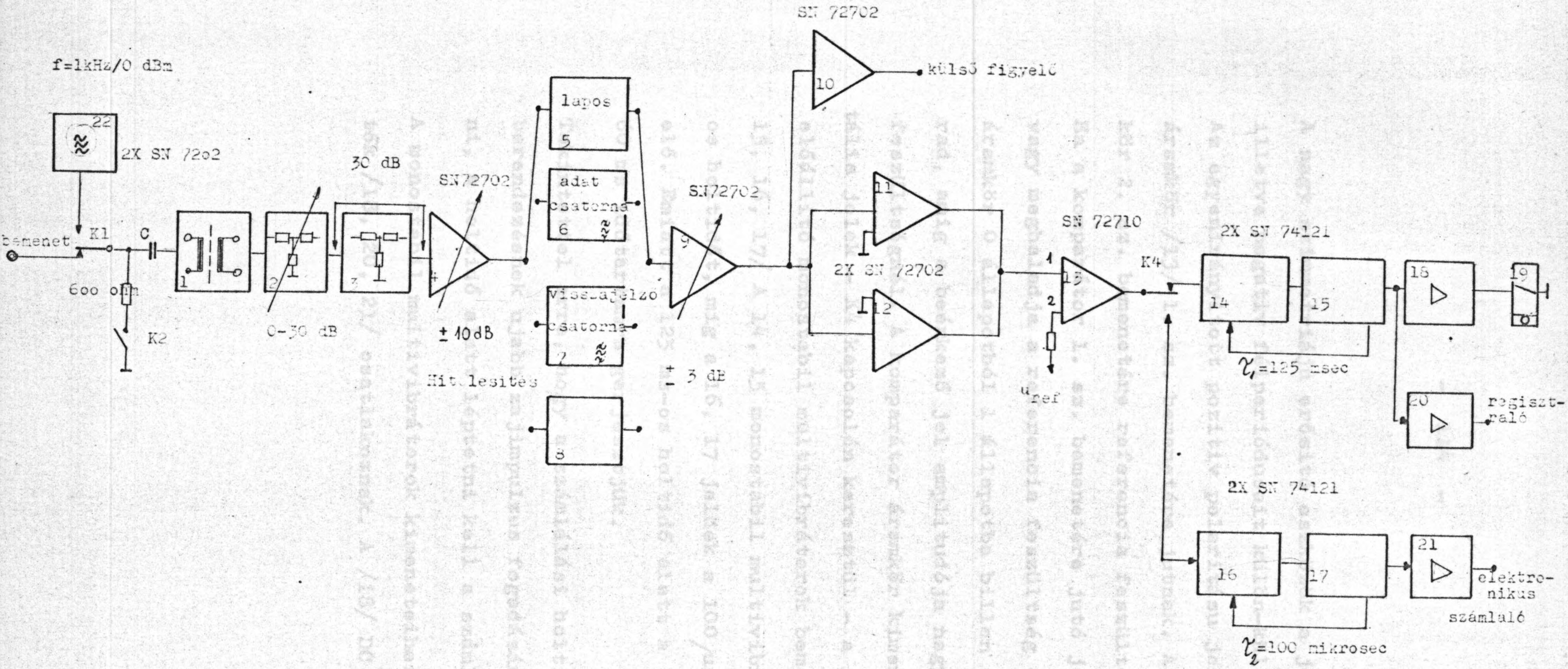
- 125 msec holtidő alkalmazása esetén az érzékelt zajimpulzusokat - manuálisan nullázható kivitelü - hat decimális helyértékü, elektromechanikus számláló számlálja. Ebben az esetben külső regisztráló berendezés is csatlakoztatható a berendezéshez, melynek segitségével megjelenithető a számlált zajimpulzusok időbeli eloszlása.

- a berendezés harmadik generációs áramkörökből épül fel, és belső telepről, valamint külső ± 24 V-os táp-feszültségről üzemeltethető.

A berendezés blokkdiagramja 41. sz. ábrán látható. A berendezés müködésének rövid leirása a blokkdiagram alapján a következő:

A számláló berendezés bemenetét a távbeszélő áramkörhöz csatlakoztathatjuk. 600 ohmos bemenő impedancia alkalmazása esetén, K2 kapcsolót zárjuk és igy a távbeszélő összekötte-tés tartóáramköre nem szakad meg. Az egyenáramu elválasztást C kondenzátor biztositja a bemenő transzformátor /1/ felé. A nagy szimmetriáju bemenő transzformátoron áthaladó jelek - a 3 dB-es lépésekben szabályozható-csillapitótagon /2/, valamint a fix 30 dB-es /3/ csillapitó egységen át jutnak a nagypontosságú, nagy erősitésü AC erősitő /4/ bemenetére.

A felerősitett jelek ezután K3 kapcsolón keresztül /5, 6, 7, 8/ szürőegységeken haladnak át. A /8/ szürő helyére tetszőleges karakterisztikájú négypólus csatlakoztatható kivülről. A szürők be és kimenő impedanciái 10 kOhm-k. Csillapitásuk a sávközepén kb. 6 dB. A sávszürő kimenetén megjelenő jelek nagy bemenő impedanciáju AC erősitőre jutnak /9/.
Az erősitő kimenetén megjelenő jelek egyrészt a figyelő erősitő /10/, másrészt az abszolutérték erősitő /11, 13/ bemeneteire jutnak. A figyelő erősitő kimenetéhez fejhallgató analóg regisztráló, vagy oszcilloszkóp csatlakoztatható, a mérés megzavarása nélkül.


f=1kHz/0 dBm
22
2X SN 72o2
30 dB
SN72702
lapos
5
adat
csatorna
6
SN72702
SN 72702
10
külső figyelő
bemenet
K1
C
600 ohm
K2
1
2
3
0-30 dB
4
± 10dB
Hitelesítés
visszajelző
csatorna
7
8
9
± 3 dB
11
2X SN 72702
12
SN 72710
1
13
2
uref
K4
2X SN 74121
14
15
τ1=125 msec
16
17
18
19
20
regisztráló
2X SN 74121
16
17
21
elektronikus
számláló
τ2=100 mikrosec

41.sz. ábra

A nagy szimmetriáju erősitő eszközök a jel pozitiv, illetve negativ félperiódusait külön-külön erősitik. Az egyenirányitott pozitiv polaritásu jelek a komparátor áramkör /13/ 1. sz. bemenetére jutnak. A komparátor áramkör 2. sz. bemenetére referencia feszültséget kapcsolunk. Ha a komparátor 1. sz. bemenetére jutó jel amplitudója eléri vagy meghaladja a referencia feszültség értékét, a komparátor áramkör 0 állapotból 1 állapotba billen és mindaddig ottmarad, amig a beérkező jel amplitudója nagyobb a referencia feszültségnél. A komparátor áramkör kimenetén megjelenő digitális jelek - K4 kapcsolón keresztül - a számlálási holtidőt előállitó monostabil multivibrátorok bemeneteire jutnak /14, 15, 16, 17/ A 14, 15 monostabil multivibrátorok a 125 ms-os holtidőt, mig a 16, 17 jelüek a 100/usec holtidőt állitják elő. Emiatt a 125 ms-os holtidő alatt a számláló jelfogót 60 ms időtartamra gerjesztjük.

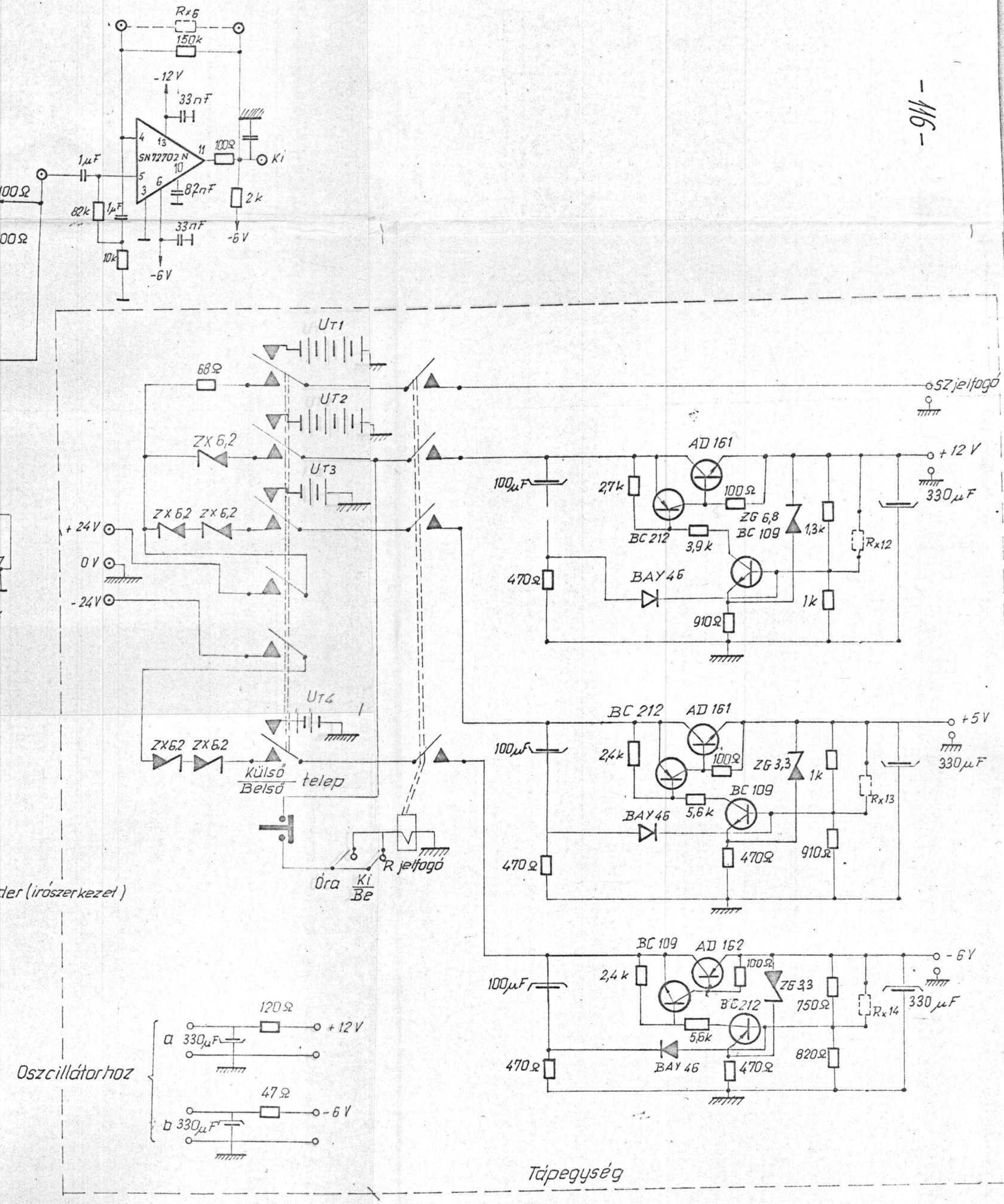
Tekintettel arra, hogy a számlálási holtidő eltelte után a berendezésnek ujabb zajimpulzus fogadására késznek kell lenni, a holtidő alatt léptetni kell a számláló jelfogót.

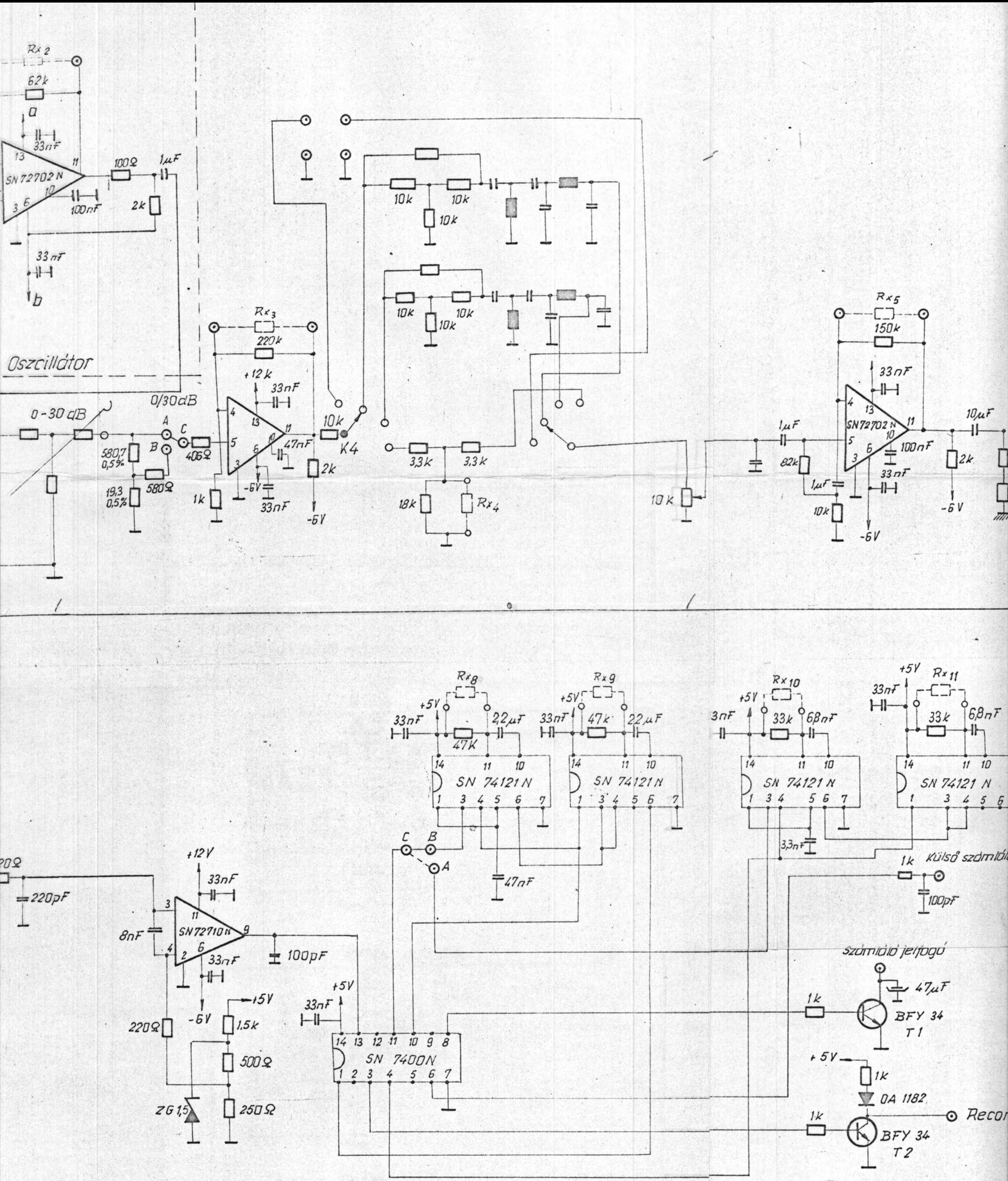
A monostabil multivibrátorok kimeneteihez egyenáramú erősitők /18, 20, 21/ csatlakoznak. A /18/ DC erősitő a 19 jelü

elektromechanikus számláló jelfogót működteti. A /4/, valamint /9/ /AC/ erősitők bemenő áramköriben feszültség osztókat alkalmazunk, melyeknek segitségével egyrészt a berendezés hitelesitése, másrészt a ± 3 dB-es folyamatos küszöbszint szabályozása válik lehetővé.

A /22/ belső generátor, a berendezés hitelesitésére szolgál. Az egység Wien-hidas, fázistolós RC/szinuszos/ generátort, valamint elválasztó erősitőfokozatot tartalmaz. K1 nyomógomb működtetésekor a transzformátor bemenete lekapcsolódik a bemeneti pontokról, illetve a hitelesitő belső generátor kimenetére kapcsolódik át. A berendezés kapcsolási rajza a 42. sz. ábrán látható.

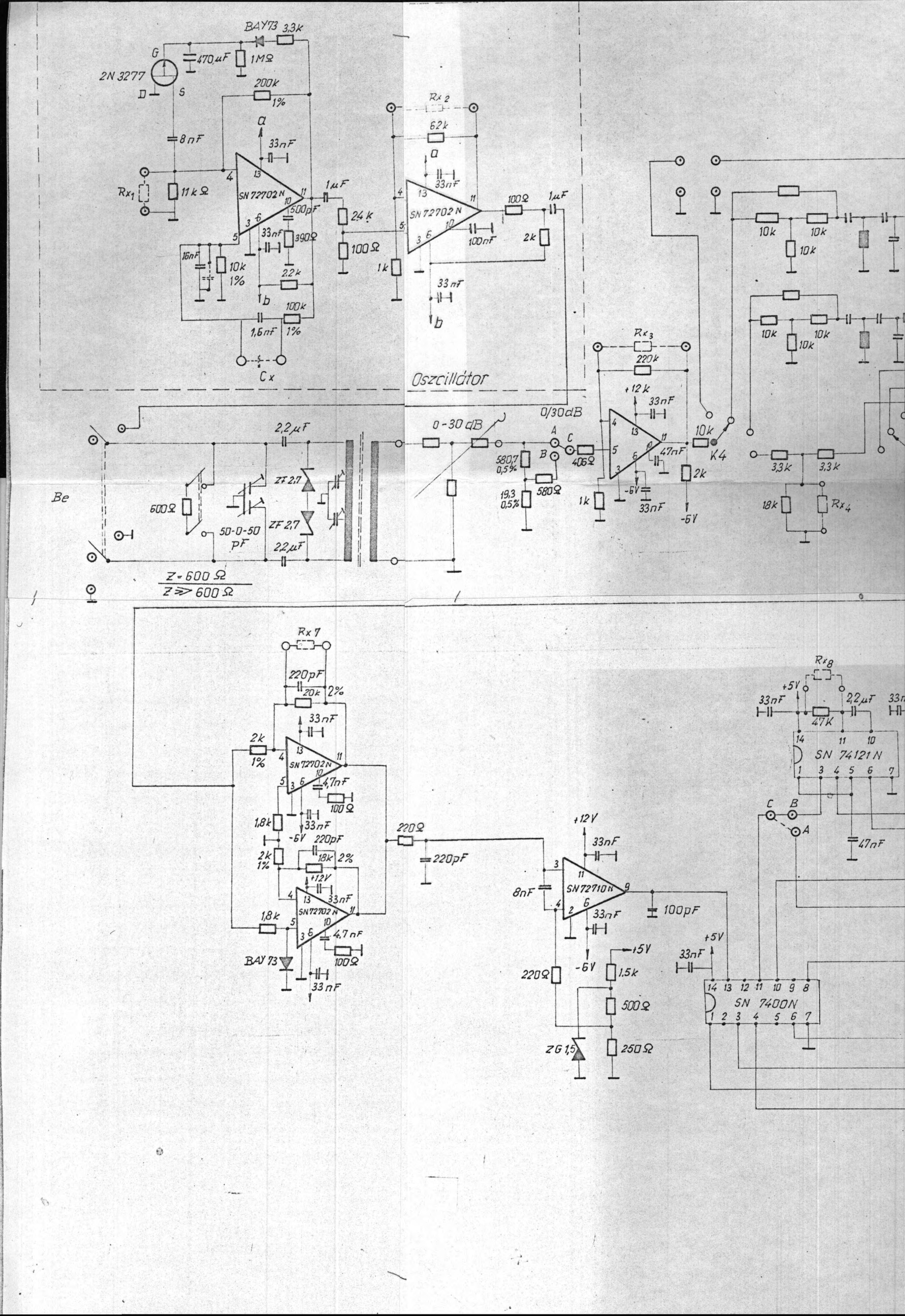
A kifejlesztett TT-5352 tipusú impulzuszaj számláló berendezésben, valamint a szerző által megtervezett és a Posta Kisérleti Intézetben kivitelezett PKI-10 csatornás impulzuszaj számláló berendezésben alkalmazott detektálási holtidő előállitó kapcsolásra vonatkozó szabadalmi igényt az Országos Talámányi Hivatalnak /TE-657 számon/ a TELMES Műszerkészitő KTSz 1972 május 29-én bejelentette. A szabadalmaztatási eljárás folyamatban van.


Rx6
150k
-12V
33nF
SN72702N
1µF
100Ω
Ki
82nF
2k
62k
1µF
33nF
-6V
10k
-6V
100Ω
00Ω
UT1
68Ω
UT2
ZX 6,2
UT3
+24V
ZX 6,2 ZX 6,2
0V
-24V
UT4
ZX6,2 ZX6,2
Külső
Belső
telep
Óra
Ki
Be
R jelfogó
der (irószerkezet)
SZ jelfogó
AD 161
+12V
100µF
2,7k
100Ω
330µF
BC 212
3,9k
ZG 6,8
BC 109
1,3k
Rx12
470Ω
BAY46
1k
910Ω
BC 212
AD 161
+5V
100µF
2,4k
100Ω
ZG 3,3
1k
330µF
BC 109
BAY46
5,6k
Rx13
470Ω
470Ω
910Ω
BC 109
AD 162
-6V
100µF
2,4k
100Ω
ZG 3,3
330µF
BC 212
750Ω
Rx14
5,6k
470Ω
BAY 46
470Ω
820Ω
Oszcillátorhoz
120Ω
a 330µF
+12V
47Ω
b 330µF
-6V
Tápegység


Rx 2
62k
a
33nF
SN 72702 N
100Ω
1µF
100nF
2k
33nF
b
Oszcillátor
Rx3
220k
+12k
33nF
0/30dB
0-30 dB
A
B
C
580,7
0,5%
19,3
0,5%
580Ω
406Ω
47nF
2k
1k
-6V
33nF
-6V
10k
K4
10k
10k
10k
10k
10k
10k
3,3k
3,3k
18k
Rx4
10k
Rx5
150k
33nF
SN72702N
1µF
82k
100nF
10µF
2k
1µF
10k
33nF
-6V
-6V

Rx8
Rx9
Rx10
Rx11
+5V
33nF
47K
2,2µF
47k
3nF
33k
6,8nF
SN 74121 N
47nF
C
B
A
3,3nF
1k
Külső számláló
100pF
220Ω
220pF
+12V
33nF
8nF
SN72710N
100pF
-6V
+15V
1,5k
220Ω
500Ω
ZG 1,5
250Ω
SN 7400N
Számláló jelfogó
47µF
1k
BFY 34
T1
+5V
1k
OA 1182
1k
BFY 34
T2
Recor

42. sz. ábra


BAY73 3,3k
2N 3277
470µF
1MΩ
200k
1%
8nF
33nF
Rx1
11kΩ
SN 72702 N
500pF
1µF
24k
100Ω
390Ω
16nF
10k
1%
2,2k
100k
1,6nF
Cx
Rx2
6,2k
1k
100Ω
2k
100nF
Oszillator
Rx3
220k
+12k
47nF
-6V
10k
K4
10k
3,3k
18k
Rx4
0-30dB
0/30dB
2,2µF
600Ω
ZF 2,7
50-0-50 pF
580,7 0,5%
19,3 0,5%
580Ω
406Ω
Be
Z = 600Ω
Z ≫ 600Ω
Rx7
220pF
20k
2%
4,7nF
1,8k
BAY 73
220Ω
+12V
8nF
SN 72710N
100pF
+5V
1,5k
500Ω
ZG 1,5
250Ω
Rx8
47k
SN 74121 N
SN 7400N

4.4 Véletlen távirótorzitás impulzuszaj jelenlétében

Az adatátviteli összeköttetés minőségi jellemzőinek vizsgálatánál láttuk, hogy Gauss zaj jelenlétében a véletlen távirótorzitás várhatóan normális eloszlással jellemezhető. A 3. fejezetben, valamint a 4.1 pontban külföldi és hazai mérések eredményeit ismertettük, melyek szerint az adatátviteli távközlő csatornában jelenlévő eredő zajfolyamat valószinüségi sürüségfüggvénye nem irható le a normális eloszlás sürüségfüggvényével. Az eltérést impulzuszaj jelenléte okozza.

Az alábbiakban arra szeretnénk választ kapni, hogy ha az adatátviteli távközlő csatornában impulzuszaj van jelen, akkor hogyan jellemezhető a véletlen távirótorzitás valószinüségi doszlás, illetve sürüségfüggvénye.

Először az alacsonysebességü adatátviteli rendszerekben alkalmazott un. keskenysávú 50 bps sebességü FMVT csatornák véletlen távirótorzitásának eloszlásfüggvényét vizsgáljuk meg. A kisérletsorozat elvégzését az alábbiakban ismertetésre kerülő okok tették szükségessé.

A sokcsatornás vivőáramú összeköttetéseken üzemelő adatátviteli és távirórendszerek számának növekedése, azok egy csatornára eső nagyobb teljesitménye miatt, a vonalerősitők túlterheléséhez vezethet. Ezért a CCITT a táviró és adatátviteli rendszerekben egyaránt - a maximális adószintre - az üzemmódtól függetlenül, - 13 dBm0/50 /uW0/ értéket ajánl. További előnyt jelentene a beszéd -32 /uW0 átlagteljesitményszintjével azonos szint /-14 dBm0/ bevezetése. Az alkalmazást a CCITT az alábbi két területen ajánlja:

- a jelenlegi ajánlásoknak megfelelő modern berendezésekben,

- azon uj rendszerekben, amelyeket a CCITT a jövőben fogad el.

Keskenysávú FMVT rendszer

A szintcsökkentés hatásának vizsgálata szempontjából, az adatátviteli távközlő csatornában keletkező zajokat kell figyelembe vennünk. A csatorna alapzajával együtt az adatátviteli távközlő csatornában - annak nemlineáris müködése miatt - a táviró csatornák között intermodulációs zaj is előáll. A szintcsökkentés következtében az intermodulációs zajok csökkennek, igy a jel/zaj viszony megnövekszik.

Ez azt jelenti, hogy a szintcsökkentés következtében bekövetkező minőségromlás mértékét az intermodulációs zajok csökkenése kismértékben ellensulyozza. Ennek ellenére vizsgálatainkból az intermodulációs zajok hatását kirekesztjük, mivel azt a vizsgált jelenség szempontjából elhanyagolhatónak tekinthetjük. Az adatátviteli távközlő-csatorna kimenetén megjelenő FMVT jeléhez az eredő zaj/Gauss, impulzus/ hozzáadódik.

Előzőekben már emlitettük, hogy ha tetszőleges amplitudóeloszlású zajt folyamatosan csökkentett sávszélességü rendszeren vezetünk át, akkor a sürüségfüggvény aszimptotikusan a Gauss-sürüségfüggvényhez tart. Az 50 bps sebességü FMVT csatorna vevőszürőjének sávszélessége $\pm$ 40 Hz.
Ezért fenti tétel értelmében, az FMVT csatorna vevő-sávszürőjének kimenetén megjelenő eredő zajfeszültség amplitudójának valószinüségi sürüségfüggvénye várhatóan jól közeliti a gaussi sürüségfüggvényt. Emiatt feltételezzük azt, hogy a CCITT R.35 Ajánlást kielégitő -50 bps sebességü - FMVT csatornák vevőszürőinek kimenetein megjelenő összeg zajfolyamat /Gauss, impulzus/ a sávkorlátozás miatt normális eloszlású.
Fentieket figyelembe véve, megválaszolásra váró kérdésünk a következőképpen fogalmazható meg; FMVT rendszer alapáramköréül szolgáló távközlő csatornában jelenlévő /sávkorlátozott/ Gauss-

zaj szintjének függvényében, hogyan változik a távirót-vitel minősége?

Milyen mértékben csökkenthető - a 24-csatornás FMVT rendszer valamennyi csatornája által - az alapáramköri adáspontra adható eredő átlagteljesitmény, az átvitel minőségének számottevő csökkenése nélkül.

A következőkben ezekre a kérdésekre keressük a választ, és a laboratóriumi vizsgálatokból kirekesztjük a:

- rövid időtartamú megszakadások,
- fázisingadozás,
  fázisugrás, valamint az időben változó
- frekvenciatorzitás hatását,

A Telefongyár BT-24 F tipusú FMVT berendezésének alkalmazásával elvégzett mérések során az alábbi jellemzők meghatározására került sor [47] :

- 1:1 arányú vizsgáló jelekkel mért véletlen távirótorzitás empirikus sürüségfüggvényének változása a jel/zaj viszony függvényében /Gauss zajforrás/,
- a CCITT R.51 Ajánlásának megfelelő QS-9 start-stop vizsgáló jelekkel mért véletlen távirótorzitás tullépési valószinüség változása a jel/zaj viszony függvényében.

- Fenti mérési eredmények ismeretében meghatározásra került a CCITT R.55 Ajánlása szerinti konvencionális torzitási fok változása a jel/zaj viszony függvényében,

- a CCITT R.53 Ajánlásában előirt, 8%-os start-stop torzitás túllépési valószinüség változása a jel/zaj viszony függvényében,

A 43. sz. ábrán a jelváltásokra vonatkozó torzitástullépési valószinüségeket tüntettük fel. Az alapáramkör vételi pontján mérve, a csatorna adószintjét -25 dBm értékre állitottuk be. Ugyanezen a ponton -20, illetve -30 dBm zajszintet állitottunk be. A két jel/zaj viszony -5 dB, 5 dB. A Gauss zajt előállitó zajforrás jelét 3100 Hz sávszélességü szürőn keresztül csatlakoztattuk az FMVT-alapáramköri-vételi pontjához.

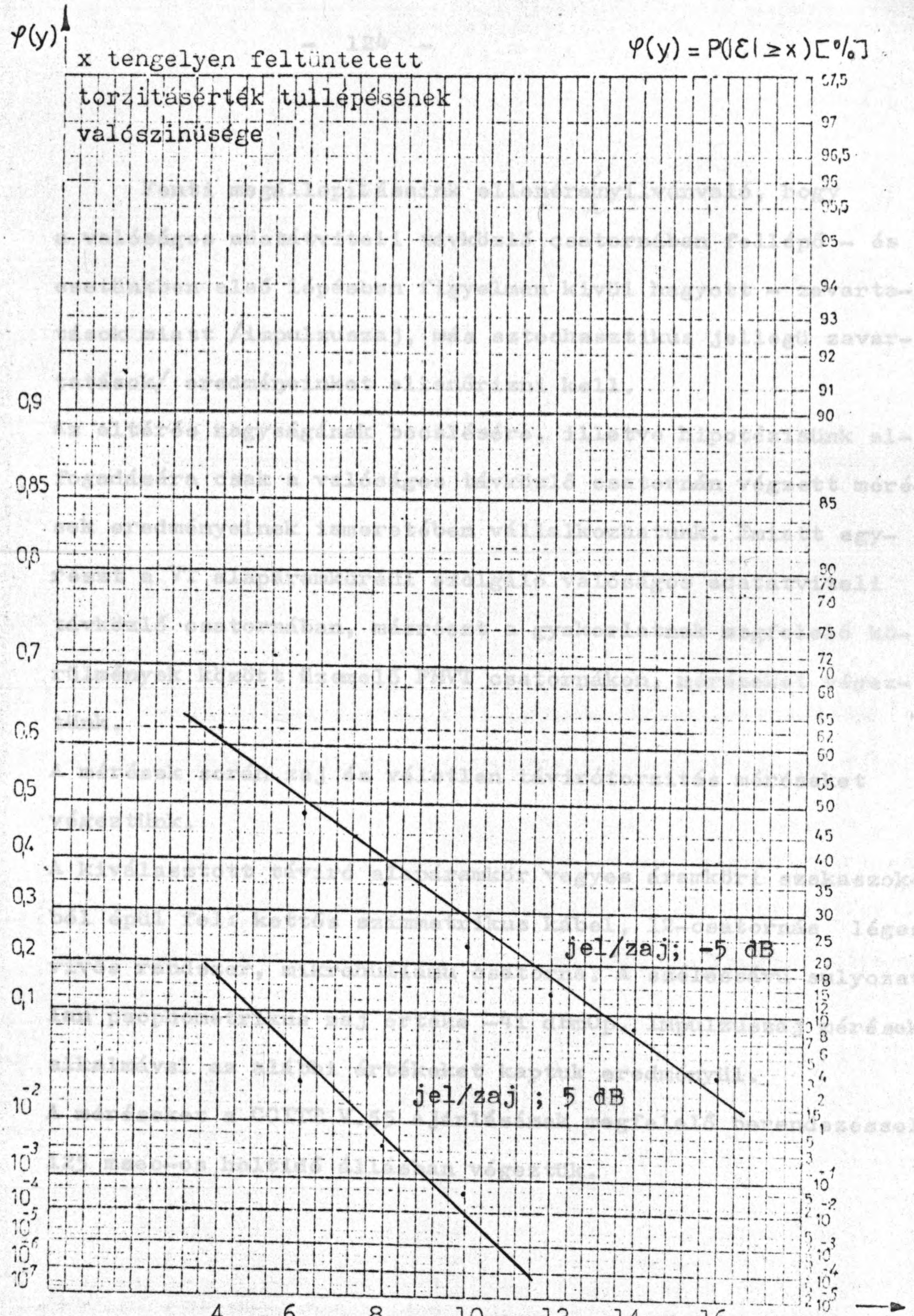
Az ábra felrajzolásához Gauss papirt alkalmaztunk, melynek felhasználása egyben normalitásvizsgálatot jelent. Kapott görbéink jól közelithetők egyenesekkel, igy hipotézisünket elfogadjuk, és a torzitáseloszlást - Gauss zaj jelenlétében - normális eloszlásúnak tekintjük.

A mérések során nyert eredményeink birtokában az alábbi megállapitásokat tehetjük:

- Gauss-zaj jelenlétében, a keskenysávú FMVT csatorna véletlen távirótorzitása, normális eloszlásfüggvénnyel jellemezhető, és a jel/zaj viszony, illetve a konvencionális torzitási fok között lineáris kapcsolat áll fenn,

- Abban az esetben, ha az FMVT alapáramköréül szolgáló adatátviteli távközlő csatornában a zajszint értéke nem lépi túl a -36 dBm0, un. "megszólalási zajszint" értékét, /a jel/zaj viszony a definiált körülmények között 10 dB, /akkor a rendszer gyakorlatilag érzéketlen a zajszint változására. Ezzel egyidejüleg teljesül a hibaarányra vonatkozó követelmény is.

- Kapott eredményeink ismeretében, a csatornánként i adószint, a minőségi jellemzők elhanyagolható mértékü változása mellett, 24-csatornás, 50 bps sebességü FMVT-k esetében -2 8,5 dBm0 értékre csökkenthető. Ez 6 dB szintcsökkentést jelent, és ebben az esetben a 24-csatornás FMVT rendszer által az adatátviteli távközlő csatorna bemenetére adott eredő átlagteljesitmény nem halad ja meg a 34 /uW0 /-14,686 dBm0/ értéket. Ez az érték gyakorlatban jól közeliti a beszéd 32 /uW0 átlagteljesitményét.


φ(y)
x tengelyen feltüntetett
torzitásérték tullépésének
valószinüsége
φ(y) = P(|ε| ≥ x) [%]
0,9
0,85
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
10⁻²
10⁻³
10⁻⁴
10⁻⁵
10⁻⁶
10⁻⁷
97,5
97
96,5
96
95,5
95
94
93
92
91
90
85
80
79
78
75
72
70
68
65
62
60
55
50
45
40
35
30
25
20
18
15
12
10
8
6
4
2
1
jel/zaj; -5 dB
jel/zaj ; 5 dB
4
6
8
10
12
14
16
véletlen távirótorzitás
[%]

43. sz. ábra

Fenti megállapitásaink ellenére nyilvánvaló, hogy a valóságos adatátviteli távközlő csatornában fellépő - és esetünkben első lépésben figyelmen kivül hagyott - zavartatások miatt /impulzuszaj, más sztochasztikus jellegü zavartatások/ eredményeinket ellenőrizni kell.

Az eltérés nagyságának becslésére, illetve hipotézisünk elfogadására csak a valóságos távközlő csatornán végzett mérések eredményeinek ismeretében vállalkozhatunk. Emiatt egyrészt a VT alapáramköréül szolgáló valóságos adatátviteli távközlő csatornában, másrészt a gyakorlatnak megfelelő körülmények között üzemelő FMVT csatornákon, méréseket végeztünk.

A mérések során zaj és véletlen távirótorzitás méréseket végeztünk.

A kiválasztott táviró alapáramkör vegyes áramköri szakaszokból épül fel: kettős szimmetrikus kábel, 12-csatornás léges vivős rendszer, mikrohullámu csatorna. A szélessávú súlyozatlan psophometrikus zaj értéke -41 dBmOp. Impulzuszaj mérések alkalmával az alábbi értékeket kaptuk eredményül.

A méréseket a CCITT V.55 Ajánlásának megfelelő berendezéssel 125 msec-os holtidő állásban végeztük.

küszöbszint	szűrőkarakterisztika lapos	adat
-24 dBm0	687	412
-18	322	190
-15	170	105
-12	110	75
- 9	62	16
- 6	23	11
- 3	15	1
0	5	0

Fenti mérési adatok a 15 perces mérési intervallum alatt megjelenő számlát zajimpulzusok számának átlagértékeit jelentik.

Összehasonlitásként, a koaxiális rendszeren végzett mérések eredményei; szélessávú sulyozatlan pszofhometrikus zaj az alapáramkör vételi pontján: -62 dBm0. Az impulzuszaj mérések eredményei:

	szürő lapos	adat
-45 dBm0	295	-
-42	-	96
-39	105	21
-33	16	0

A CCITT szerint, az 50-200 bps sebességü hangfrekvenciás táviróátvitelre igénybevett távbeszélő tipusú távközlő csatornában megengedett psophometrikus zaj átlagteljesitménye, a nulla relativszintü pontban, nem lépheti túl a 80.000 pW értéket, ami -41 dBm0p szint értéknek felel meg.

Hangfrekvenciás táviróátvitelre alkalmazott távbeszélőtipusú áramkörben, a -18 dBm0 értéket meghaladó zajimpulzusok száma /15 perc alatt/ nem lehet több, mint 18 db, 125 msecos holtidővel, lapos szürőkarakterisztikával mérve.Adatátvitel esetén a fent emlitett küszöbszint -21 dBm0 értékre állitandó be.

Az impulzuszajmérés során kapott adatok azt bizonyitják, hogy a vizsgált távközlő csatornában jelentős mértékü impulzuszajból származó zavartatás van jelen. Ilyen feltételek mellett megvizsgáltuk az átvitt start-stop jelek /jelváltásokra vonatkozó/ torzitás tullépési valószinüségeit, a vegyes áramköri szakaszokból álló, táviróalapáramkörön üzemelő FMVT rendszer 12. sz. csatornáján.

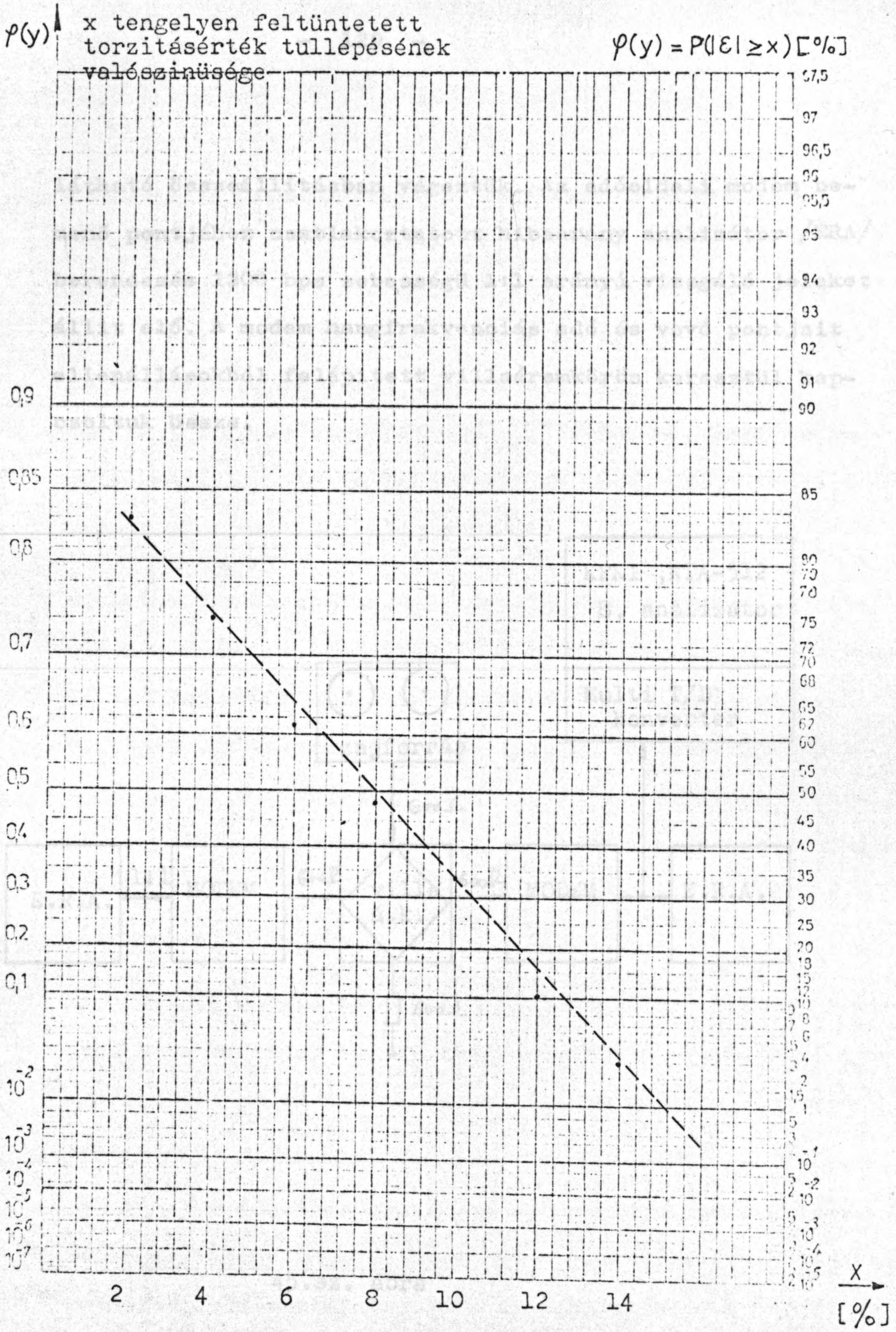
A kapott eredményeket Gauss papiron rajzoltuk meg /L: 44. sz. ábrát/. A véletlen távirótorzitás a fenti ábra alapján, normális eloszlásfüggvénnyel irható le, annak ellenére, hogy az alapáramkörben jelentős mértékü impulzuszaj van jelen.

Korábbi hipotézisünket, mely szerint az impulzus-zaj folyamat áthaladván a keskenysávú FMVT vevőszürő-jén gyakorlatilag Gauss zajnak tekinthető - fenti mérések eredményeinek ismeretében - elfogadjuk. E hipotézis elfogadása azzal a gyakorlati következménnyel jár, hogy a szintcsökkentés javasolható, és a szintcsökkentés következtében előálló véletlen távirótorzitás, valamint a konvencionális torzitás fokának növekedése a normális eloszlás szórásának ismeretében számitással meghatározható.

Eredeti kérdésünkre válaszolva, a javasolt 6 dB-es szintcsökkentés végrehajtható, és a keskenysávú FMVT csatorna véletlen távirótorzitásának eloszlásfüggvénye - impulzuszaj jelenlétében is - jól közeliti a normális eloszlásfüggvényt.

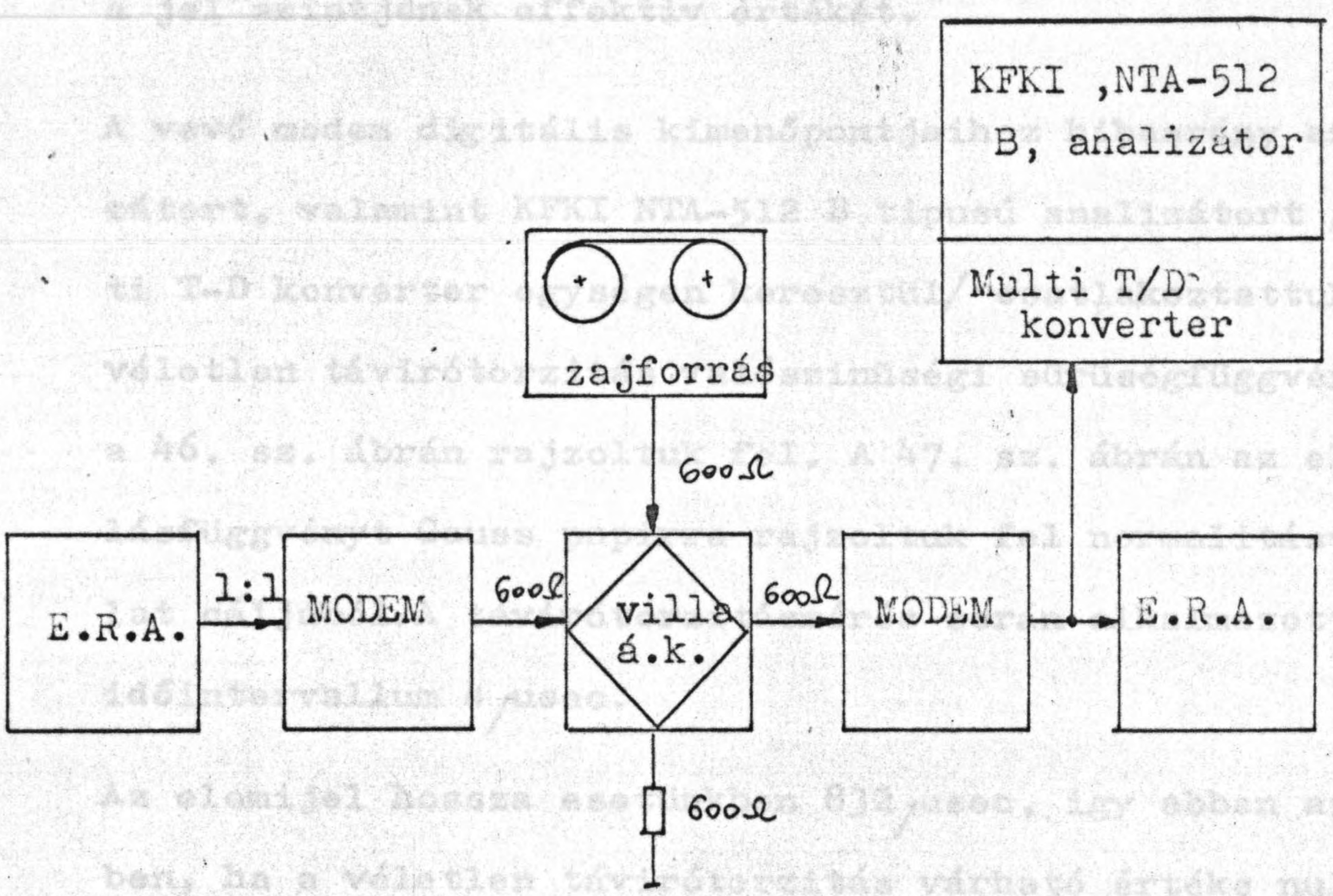
1200 bps sebességü adatátviteli rendszer

A keskenysávú FMVT csatorna véletlen táviró-torzitás eloszlásának vizsgálata után, a CCITT V.23. Ajánlásának megfelelő /1200 bps sebességü FSK modulációt alkalmazó/ adatátviteli modem véletlen távirótorzitásának empirikus sürüségfüggvényét határoztuk meg. A mérést a 45. sz. ábrán


φ(y)
x tengelyen feltüntetett torzitásérték tullépésének valószínüsége
φ(y) = P(|ε| ≥ x) [%]
97,5
97
96,5
96
95,5
95
94
93
92
91
90
85
80
79
78
75
72
70
68
65
62
60
55
50
45
40
35
30
25
20
18
15
12
10
8
6
4
2
1
0,9
0,85
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
10⁻²
10⁻³
10⁻⁴
10⁻⁵
10⁻⁶
10⁻⁷
2
4
6
8
10
12
14
X
[%]
távirótorzitás

44. sz. ábra

látható összeállitásban végeztük. Az adóoldali modem bemenő pontjához csatlakoztatott hibaarány analizátor /ERA/ berendezés 1200 bps sebességü 1:1 arányú vizsgáló jeleket állit elő. A modem hangfrekvenciás adó és vevő pontjait ellenállásokból felépitett villaáramkörön keresztül kapcsoltuk össze.



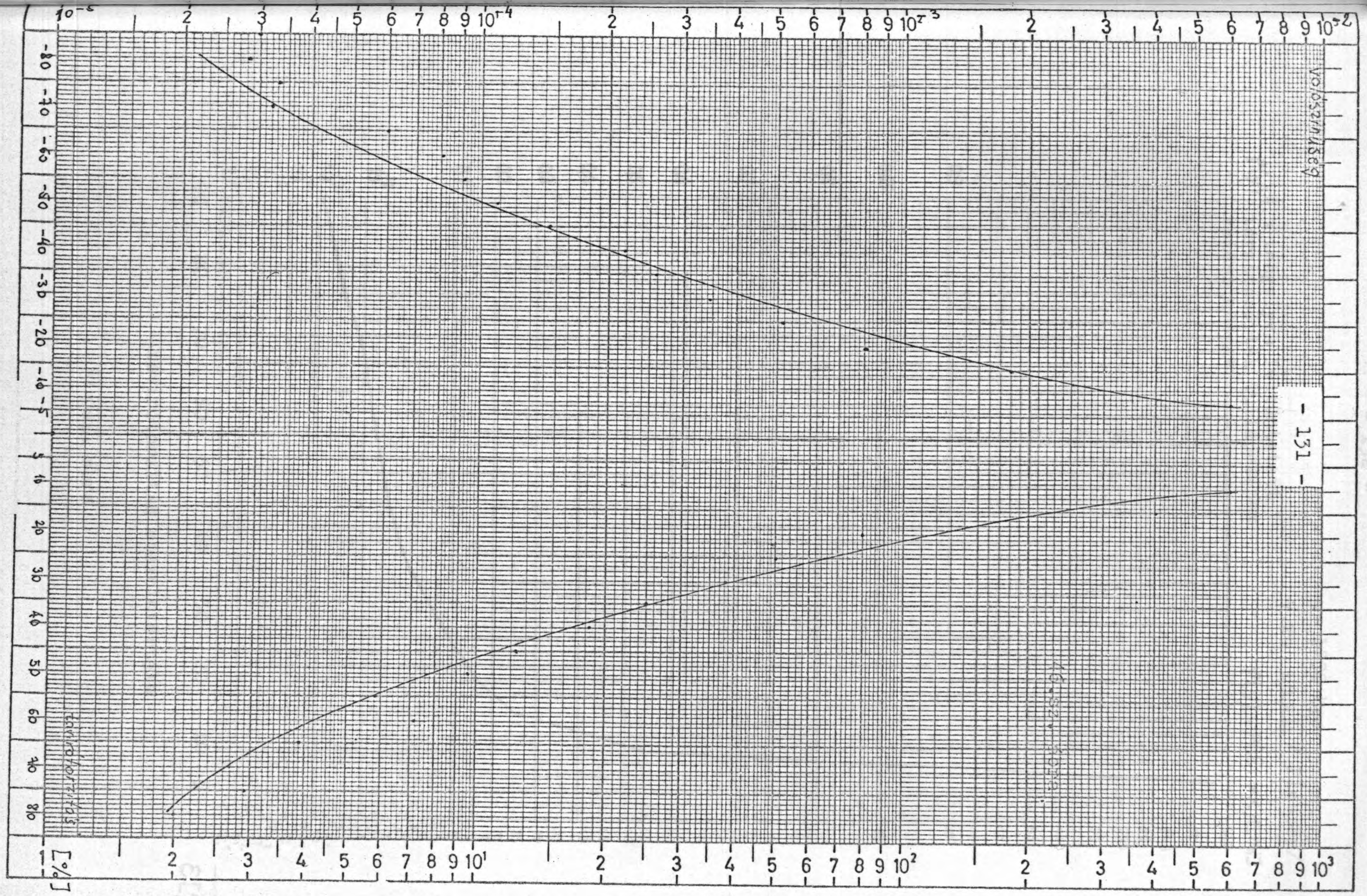
45.sz. ábra

A budapesti kapcsolt távbeszélőhálózat áramkörén mágnesszalagra rögzitett eredő /Gauss, impulzus/ zajfolyamatot szintén a villaáramkörön keresztül csatlakoztattuk. A vevő modem hangfrekvenciás bemenő pontjain a jel és az eredő zajfolyamat komponensei összeadódnak. Az eredő zajfolyamat szintjét ugy állitottuk be, hogy az impulzuszaj-folyamat zajimpulzusainak amplitudója lépje túl a jel szintjének effektiv értékét.

A vevő modem digitális kimenőpontjaihoz hibaarány analizátort, valamint KFKI NTA-512 B tipusú analizátort /a Multi T-D konverter egységen keresztül/ csatlakoztattuk. A véletlen távirótorzitás valószinüségi sürüségfüggvényét a 46. sz. ábrán rajzoltuk fel. A 47. sz. ábrán az eloszlásfüggvényt Gauss papirra rajzoltuk fel normalitásvizsgálat céljából. A távirótorzitásmérés során alkalmazott elemi időintervallum 4/usec.

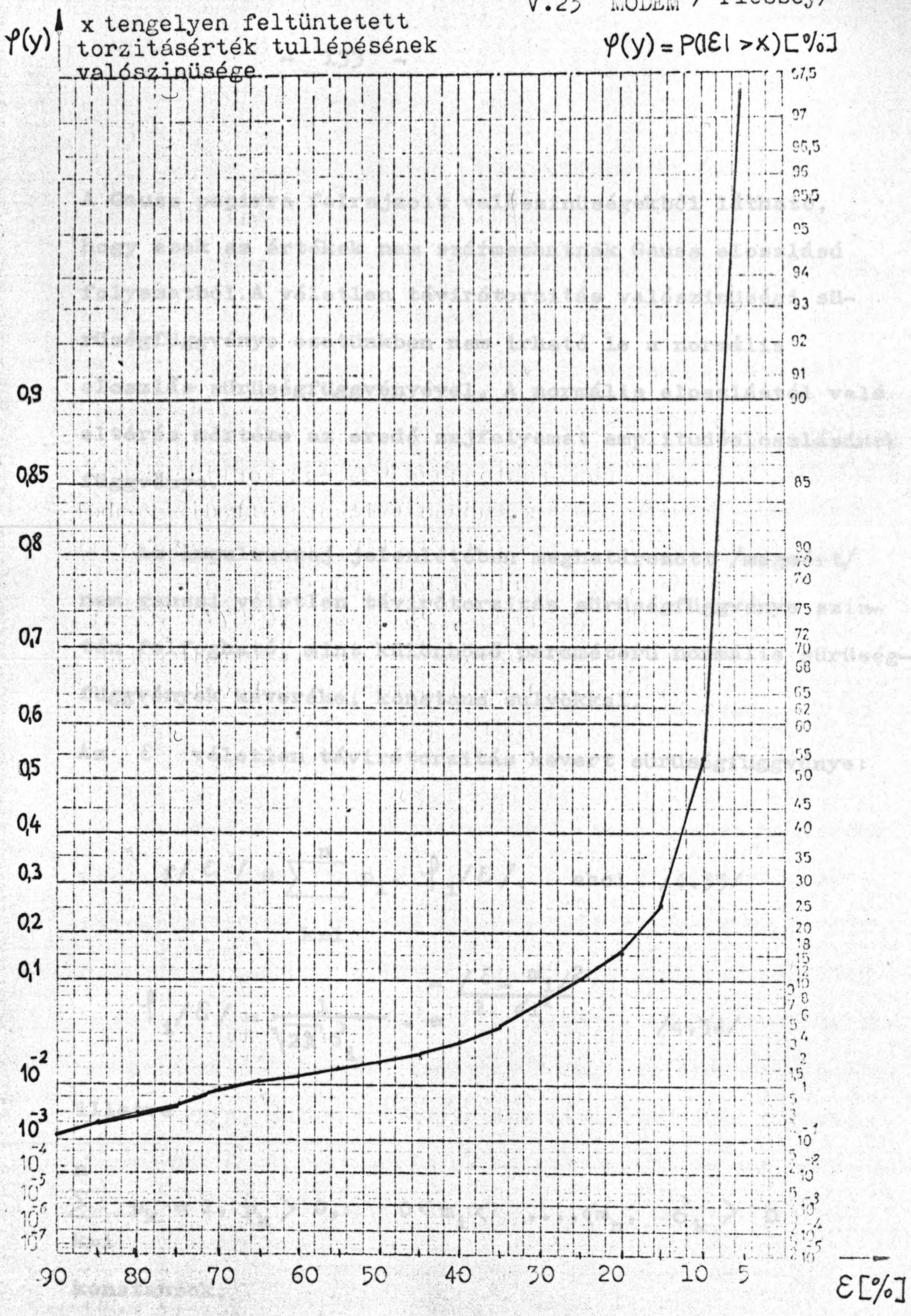
Az elemijel hossza esetünkben 832/usec, igy abban az esetben, ha a véletlen távirótorzitás várható értéke nulla, akkor a jellemző időpontnk az analizátor 208 sz. csatornájába kell esnie.

A távirótorzitás empirikus sürüségfüggvényének ismeretében megállapithatjuk, hogy azt a gyakorlat szempontjából szimmetrikusnak tekinthetjük, azaz adott nagyságú pozitiv és negativ előjelü távirótorzitások azonos valószinüségekkel jelennek meg.


- 131 -
Az egyik tengelyen logaritmikus osztás 1-1000-ig. Egység 90mm.
A másik mm.

v= 1200 bps

V.23 MODEM / Plessey/



távirótorzitás abszolutértéke

47. sz. ábra

A Gauss papirra felrajzolt valószinüségekből látható, hogy ezek az értékek nem származhatnak Gauss eloszlású folyamatból. A véletlen távirótorzitás valószinüségi sürüségfüggvénye esetünkben nem irható le a normális eloszlás sürüségfüggvényével. A normális eloszlástól való eltérés mértéke az eredő zajfolyamat amplitudóeloszlásának függvénye.

Az impulzuszaj jelenlétében meghatározott /megmért/ nem gaussi véletlen távirótorzitás sürüségfüggvénye szintén felfogható, mint különböző paraméterü normális sürüségfüggvények keveréke, konstans sulyokkal.

Az ε véletlen távirótorzitás kevert sürüségfüggvénye:

$$f/\varepsilon/ = \sum_{k=1}^{n} p_i \cdot f_i/\varepsilon/, \quad \text{ahol} \qquad /4.33/$$

$$f_i/\varepsilon/ = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\cdot\sigma_i} \cdot e^{-\frac{/\varepsilon - m_i/^2}{2.\ \sigma_i^2}} \qquad /4.34/$$

illetve

$$\sum_{k=1}^{n} p_k = 1,\ p_k > 0, \qquad 0 < m_i < \ldots\ldots < m_n, \quad \sigma_k > 0$$

konstansok.

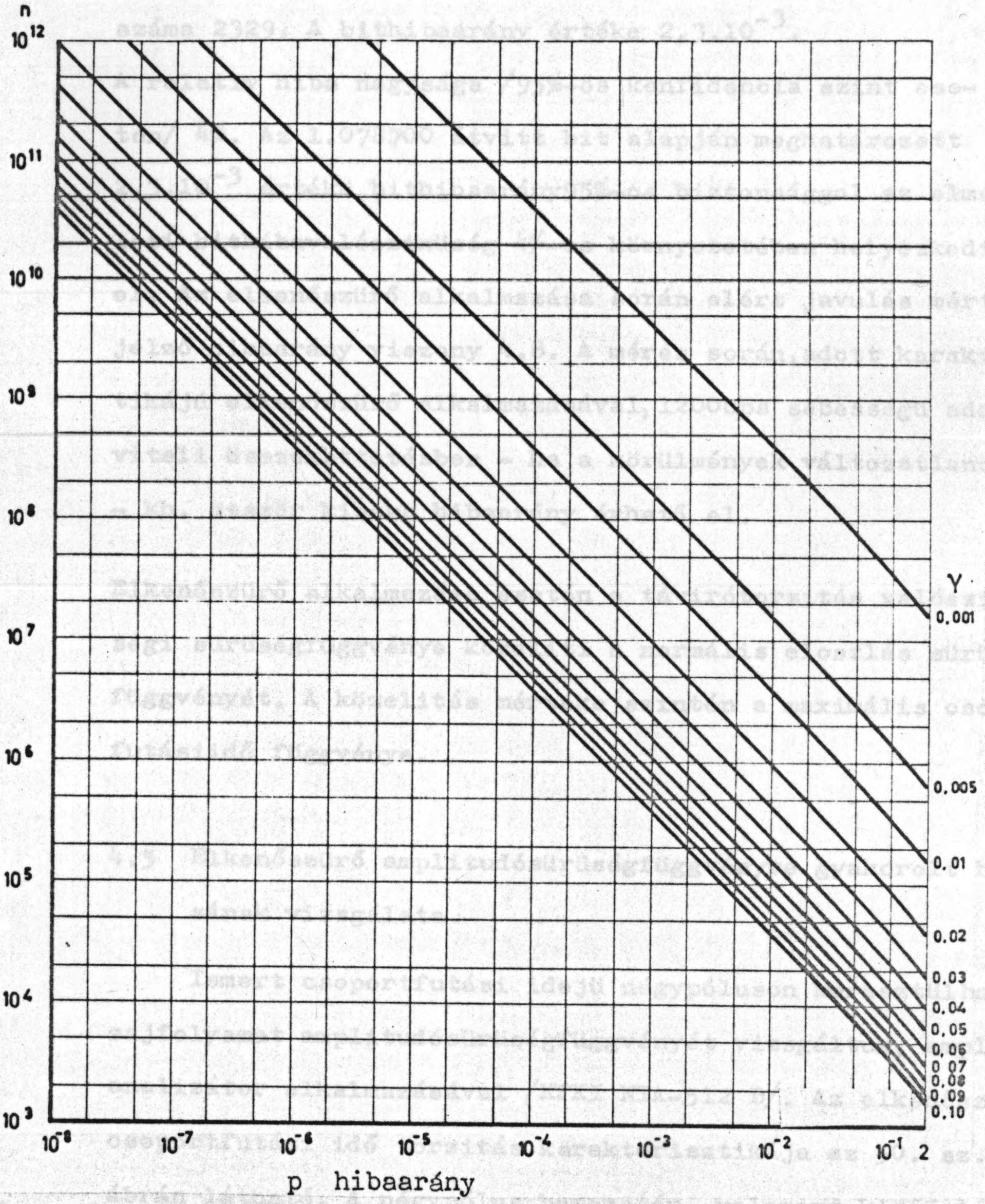
A mérés során 1.078772 bitet vittünk át és 11120 bit hibát regisztráltunk. A hibaarány értéke 10^{-2}. Hibaarány mérésünk pontossága 95%-os konfidenciaszint esetén a 48. sz. ábrán látható diagramból meghatározható.

γ a relativ hiba, n az átvitt bitek száma, p a mért hibaarány értéke.

A relativ hiba nagysága 2%. Az 1.078772 átvitt bit alapján meghatározott 10^{-2} értékü bithibaarány 95%-os biztonsággal az elméleti bithibavalószinüség 2%-os környezetében helyezkedik el.

4.4.1 Elkenőszürő hatása a véletlen távirótorzitásra és hibaarányra

Előzőekben leirt véletlen távirótorzitás és hibaarány mérést megismételtük ugy, hogy a mérés körülményeit nem változtattuk meg, csupán elkenőszürőt kapcsoltunk be a modem vételi pontjai elé. Az elkenőszürő csoportfutási idő karakterisztikája az 50.sz. ábrán látható. A mérést ugyanazzal a zajfolyamattal ismételtük meg. Az elkenőszürő alkalmazása során kapott empirikus távirótorzitás sürüségfüggvényt a 49. sz. ábrán felrajzoltuk. Hibaarány mérés alkalmával 1.078700 bitet vittünk át. A regisztrált hibák


n
10^12
10^11
10^10
10^9
10^8
10^7
10^6
10^5
10^4
10^3
10^-8
10^-7
10^-6
10^-5
10^-4
10^-3
10^-2
10^-1
2
p hibaarány
Y
0.001
0.005
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
0.06
0.07
0.08
0.09
0.10

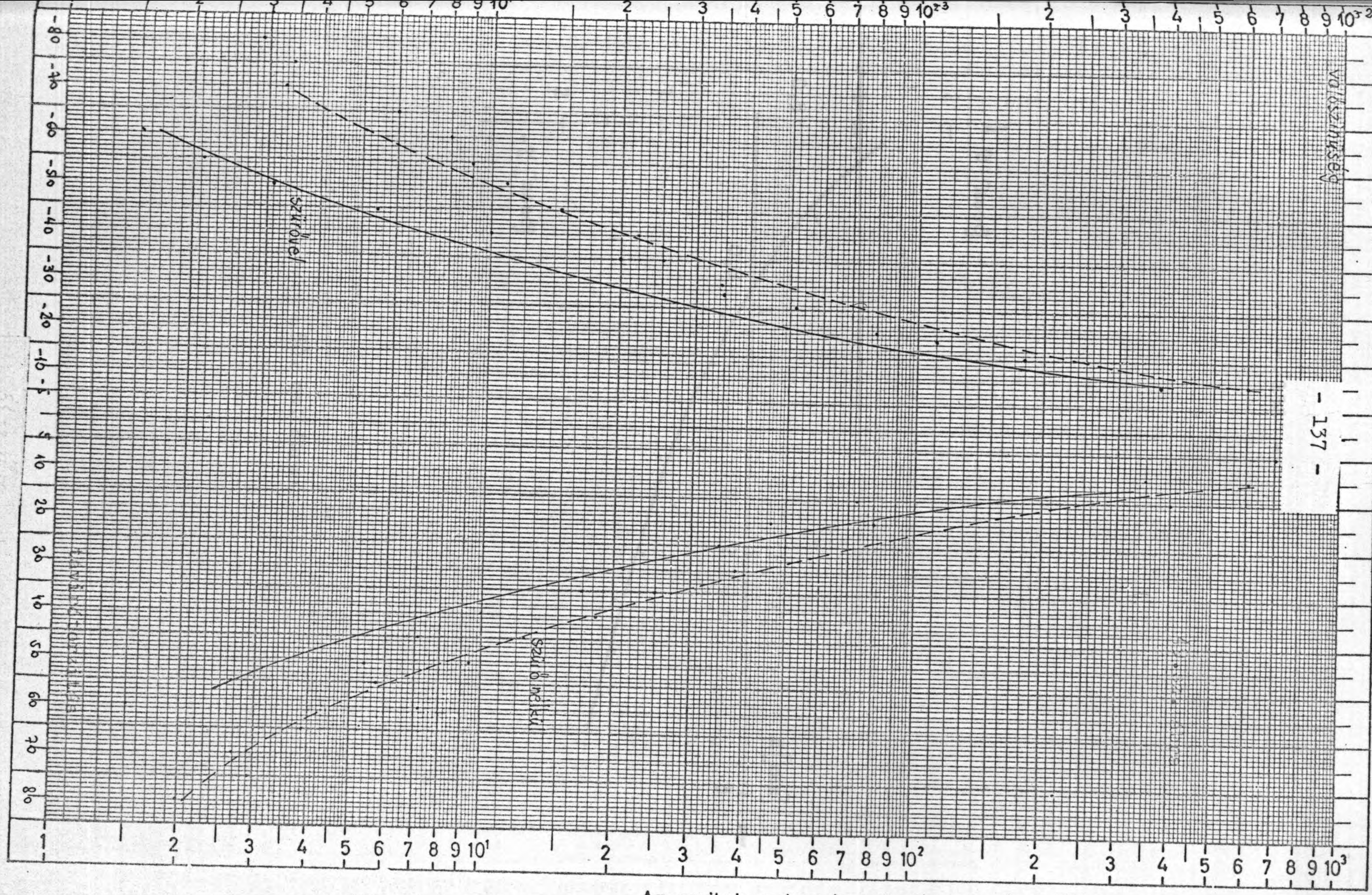
48.sz. ábra

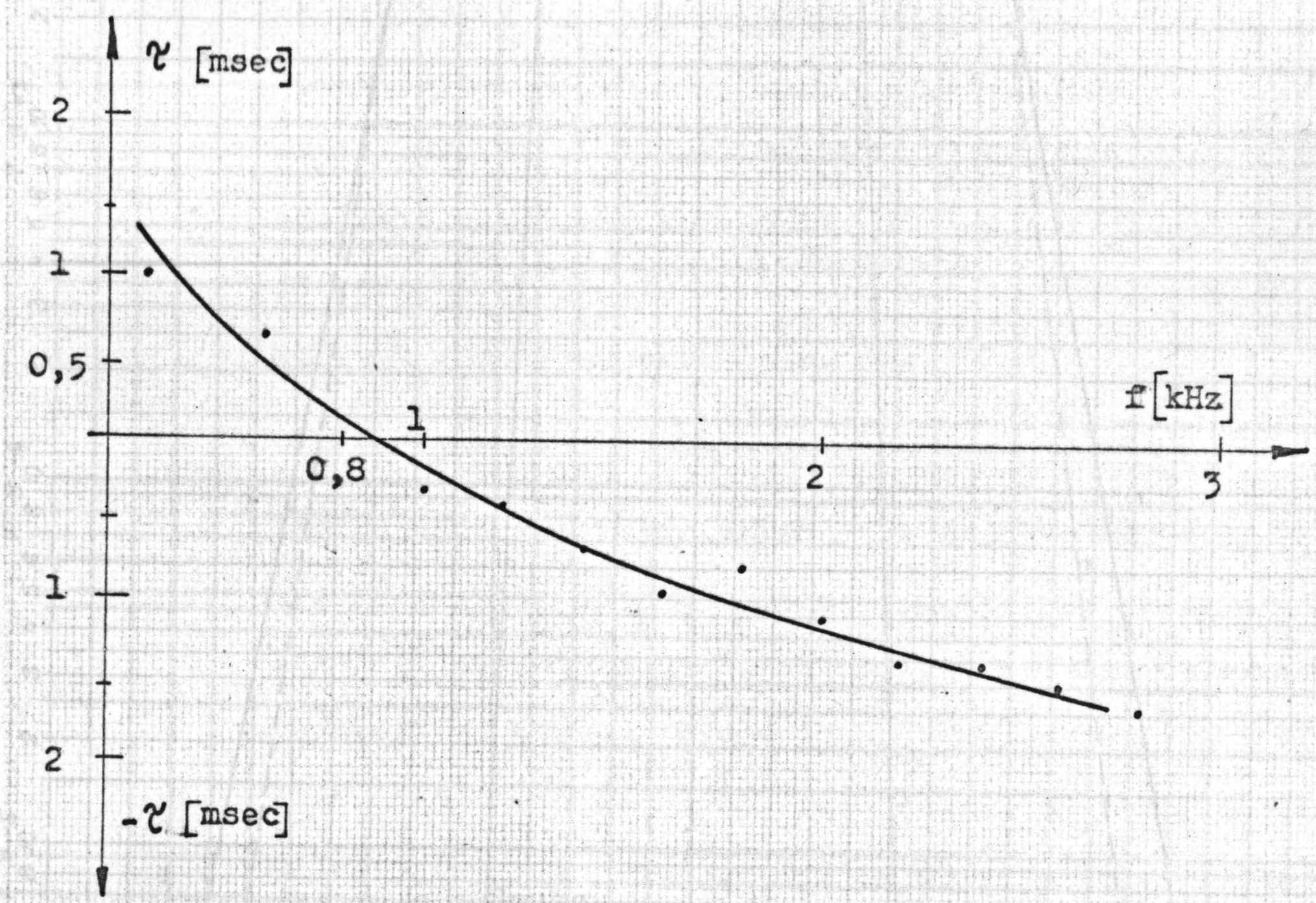
száma 2329. A bithibaarány értéke $2,3.10^{-3}$.
A relativ hiba nagysága /95%-os konfidencia szint esetén/ 4%. Az 1.078.700 átvitt bit alapján meghatározott $2,3.10^{-3}$ értékü bithibaarány95%-os biztonsággal az elméleti bithibavalószinüség 4%-os környezetében helyezkedik el. Az elkenőszürő alkalmazása során elért javulás mértékét jelző hibaarány viszony 4,8. A mérés során,adott karakterisztikájú elkenőszürő alkalmazásával, 1200bps sebességü adatátviteli összeköttetésben - ha a körülmények változatlanok - kb. ötször kisebb hibaarány érhető el.

Elkenőszürő alkalmazása esetén a távirótorzitás valószinüségi sürüségfüggvénye közeliti a normális eloszlás sürüségfüggvényét. A közelités mértéke szintén a maximális csoportfutásiidő függvénye.

4.5 Elkenőszürő amplitudósürüségfüggvényre gyakorolt hatásának vizsgálata

Ismert csoportfutási idejü négypóluson keresztülhaladó zajfolyamat amplitudósürüségfüggvényét vizsgáltuk, amplitudóanalizátor alkalmazásával /KFKI NTA-512 B/. Az elkenőszürő csoportfutási idő torzitás karakterisztikája az 50. sz. ábrán látható. A négypólus bemenetén, valamint kimenetén méréssel meghatározott amplitudósürüségfüggvényeket /hisztogram/ az 51. sz. ábrán rajzoltuk fel.


-80
-70
-60
-50
-40
-30
-20
-10
-5
5
10
20
30
40
50
60
70
80
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10¹
10²
10³
10⁻²
valószínűség
szórással
- 137 -
Az egyik tengelyen logaritmikus osztás 1-1000-ig. Egység 90mm.
A másik mm.



50. sz. ábra

p valószinüség

elkenő szürővel

Gauss

51.sz.ábra

A mérés időtartamát 15 percre választottuk. Az ábrából látható, hogy a zajfeszültség effektiv értékénél 30 dB-el nagyobb amplitudójú zaj-impulzusok előfordulási valószinüségei kb. egy nagyságrenddel csökkenthetők az adott karakterisztikájú elkenőszürő alkalmazásával.
Ennél nagyobb amplitudó értékü zajimpulzusoknál elérhető hatás még kedvezőbb. A maximális csoportfutási idő értékének növelésével a zajimpulzusok amplitudói még nagyobb mértékben csökkenthetők.

A transzformált empirikus amplitudósürüségfüggvény ismeretében a következőkben arra szeretnénk választ kapni, hogy a $10.u_{eff}$ küszöbszinten megmért zajimpulzusok és a számlált zajimpulzusok száma hogyan változik elkenőszürők alkalmazása esetén. Ezért $10.u_{eff}$ küszöbszinten a CCITT V.55 Ajánlásának megfelelő impulzuszaj számláló berendezéssel mérést végeztünk elkenőszürő nélkül, valamint elkenőszürő beiktatásával. A következő eredményeket kaptuk, 15 perces mérési időtartam alatt, lapos szürőállásban:

1. Elkenőszürő nélkül:

zaj impulzusok száma /100 usec holtidő/; 22585 db,

számlált zajimpulzusok száma /125 msec holtidő/ 1412.

2. Elkenőszürővel:

zajimpulzusok száma: 5518 db,

számlált zajimpulzusok száma 456.

A javulás mértéke számlált zajimpulzusok esetében 3,1. A zajimpulzusok számának csökkenését jelző viszony; a javulás mértéke 4,1.

A következőkben összehasonlitjuk kapott eredményeinket az Engel által közölt feltételes hibavalószinüség, valamint az elkenőszürő alkalmazásával elért jel/zaj viszony javulást leiró görbékkel /17. 27. sz. ábrák/. Tekintsük az 1200 bps sebességü FSK modemmel létesitett adatátviteli összeköttetést. Az alkalmazott elkenőszürő maximális csoportfutási idő torzitása a vizsgált sávban 3 msec. Az adatjelek periódusideje 0,833 msec. A kettő viszonya 3,6. Engel szerint ez / $\alpha = 2$/ kb. 1,6 dB értékü jel-zaj viszony növekedést eredményez. Ez viszont a feltételes hibavalószinüség 5-szörös csökkenésével jár együtt. Ha a maximális csoportfutási idő torzitás értéke 8,33 msec lenne /szinuszos jellegü karakterisztika/, akkor kb. 3,3 dB-es jel/zaj viszony növekedést érnénk el. Ez a feltételes hibavalószinüséget kb. egy nagyságrenddel csökkentené.

A 4.4.1 pontban láttuk, hogy az alkalmazott elkenőszürővel elért hibaarány csökkenés 1200 bps sebességü FSK modemet alkalmazó adatátviteli összeköttetésben 4,8-szeres. Ebben a pontban a mérések adataiból megállapitottuk, hogy a fenti esetben is alkalmazott elkenőszürő hatására a zajimpulzusok száma /rögzitett küszöbszinten/ 4,1-szeresére csökkent. A fenti mérések eredményei alapján az alábbi megállapitást tesszük. Adott elkenőszürő alkalmazásával a hibaarány és a rögzitett küszöbszinten megfigyelt zajimpulzusok száma gyakorlatilag azonos mértékben csökken. A csökkenés mértéke a gyakorlatban jó egyezést mutat a feltételes hibavalószinüség változásával is.

Milyen mértékü további javulás várható a kapcsolt távbeszélőhálózaton - 1200 bps sebességü modemmel /CCITT V.23/ - létesitett adatátviteli összeköttetésben? Maximális hibaarány csökkenés abban az esetben érhető el, ha az adatátviteli távközlő csatornában jelenlévő zajfolyamat amplitudósürüségfüggvényét, - mely jelentősen eltér a normális eloszlás sürüségfüggvényétől - elkenőszürő alkalmazásával gaussi sürüségfüggvénnyé transzformáljuk.

Tekintsük az 52. sz. ábrát. Az 1. sz. görbe az FSK rendszerek elméleti bithibavalószinüségét ábrázolja a jel/zaj

viszony függvényében, Gauss zaj jelenlétében [28.].

A zajteljesitmény $1/T_o$ sávszélességre vonatkozik, ahol T_o az elemijel időtartama. Gyakorlati mérések alkalmával a modem bemenő jeleihez 3 kHz sávszélességü Gauss zajt kevertünk. Ezért az elméleti bithibavalószinüség változását -3 kHz sávszélességü Gauss zajterhelést feltételezve - a 2. sz. görbe irja le.

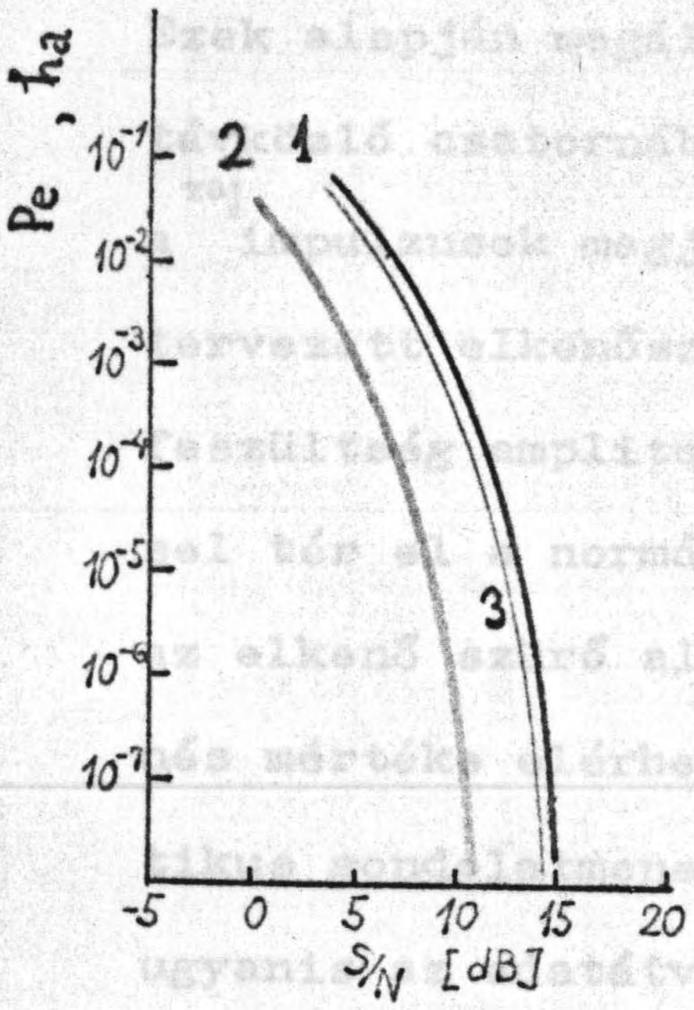
A 3. sz. görbe a különböző tipusú modemek laboratóriumi vizsgálata alkalmával meghatározott hibaarányok átlagértékének változását mutatja, sávkorlátozott /3 kHz/ Gauss zaj jelenlétében. 1200 bps sebességü modemek alkalmazásakor - rögzitett hibaarány, illetve hibavalószinüség esetén - kb. 3 dB-el alacsonyabb zajszintet kell biztositani a modem bemenetén mint ideális esetben.

A budapesti kapcsolt távbeszélő hálózaton - 1200 bps sebességen, V.23 ajánlás szerinti modemekkel /ITT, GH 2002/ - végzett hibaarány mérések alkalmával a zajszint átlagértéke a vevő modem bemenetén /3 kHz-es sávban/ -55 dBm volt. A vételi szintek; A esetben -20 dBm, B esetben -26 dBm, C esetben -32 dBm. A jel/zaj viszony:

A eset; 35 dB,

B eset; 29 dB,

C eset; 23 dB,



52.sz. ábra

A mért hibaarány értékei:

A eset; $4{,}2.10^{-6}$,

B eset; $6{,}5.10^{-5}$,

C eset; $2{,}1.10^{-4}$,

A regisztrált hibás bitek száma:

az A esetben 1650, B esetben 2753,

C esetben 9853.

Hasonlitsuk össze eredményeinket a sávkorlátozott Gauss zaj-terheléssel történt mérés alkalmával kapott értékekkel, az 52. sz. ábra alapján. Az 52. sz. ábra 3. sz. görbéjéből látható, hogy ha a jel/zaj viszony tullépi a 15 dB-t, akkor a hibaaránynak kisebbnek kell lenni, mint 10^{-8} feltéve, hogy a zaj amplitudósürüségfüggvénye Gauss törvényt követ. Ezzel szemben a valóságos adatátviteli összeköttetésen végzett mérések alkalmával:

35 dB jel/zaj viszonynál: $4{,}2.10^{-6}$

29 dB " $6{,}5.10^{-5}$

23 dB " $2{,}1.10^{-4}$

értékü bithibaarányt kaptunk eredményül.

Ezek alapján megállapitható, hogy ha az adatátviteli távközlő csatornában megjelenő adatátviteli hibákat csak zaj a impulzusok megjelenése váltja ki, és ha a megfelelően tervezett elkenőszürő alkalmazásával a transzformált zajfeszültség amplitudósürüségfüggvénye tetszőlegesen kevéssel tér el a normális eloszlás sürüségfüggvényétől, akkor az elkenő szürő alkalmazásával elérhető hibaarány csökkenés mértéke elérheti a 10^4-szeres értéket is. Fenti heurisztikus gondolatmenet eredménye némi korrekcióra szorul, ugyanis az adatátviteli hibák megjelenését nem csak az impulzuszaj jelenléte váltja ki. Az azonban megállapitható, hogy a bithibaarány kb. 2 nagyságrenddel történő csökkentése céljából az elkenőszürők a siker viszonylag nagy reményével alkalmazhatók.

Az elkenési technika alkalmazása lehetővé teszi a hibaarány bizonyos határok között történő csökkentését. Ez a megoldás azokban az esetekben alkalmazható gazdaságosan, amikor adott összeköttetésben biztositható hibaarányt egy, vagy két nagyságrenddel kellene csökkenteni és a hibás bitek megjelenését elsősorban zajimpulzusok megjelenése, illetve jelenléte okozza. Ez az eljárás a gyakorlatban elsősorban

a nyilvános kapcsolt távbeszélő hálózaton üzemelő alacsony és középsebességü adatátviteli szolgáltatást igénybevevő előfizetők számára nyujt gazdaságos megoldást, ahol a rendszer bithibaaránya általában 10^{-3} ... 10^{-4} nagyságrendü. A CCITT V.41 számu ajánlásának megfelelő ciklikus kódos hibavédelmi berendezést alkalmazó adatátviteli összeköttetés hatásfoka pl. 480 bit hosszuságu blokk és 10^{-3} értékü vonali bithibaarány esetén viszonylag alacsony. Elkenőszürők alkalmazásával a vonali bithibaarány jelentősen csökkenthető, melynek következtében az átvitel hatásfoka és gazdaságossága megnövekszik.

Az elkenőszürő alkalmazása tehát mind a hibaarány csökkentésére, mind az átvitel hatásfokának növelésére gazdaságos megoldást kinál. A 4.4 sz. táblázatban a leggazdaságosabbnak tartott hibavédelmi eljárások láthatók, olyan átviteli /adat/ összeköttetésekre vonatkozóan, melyekben az adatátviteli hibák megjelenését elsősorban zajimpulzusok megjelenése váltja ki. A javasolt hibavédelmi eljárást a vonalon - hibavédelem nélkül - mérhető és az adatátviteli összeköttetéstől megkivánt hibaarány határozza meg.

A táblázatban alkalmazott jelölések:

E: elkenőszürő alkalmazása

C: ciklikus kódos hibavédelmi berendezés alkalmazása

E + C : elkenőszürő és ciklikus kódos hibavédelmi berendezés együttes alkalmazása.

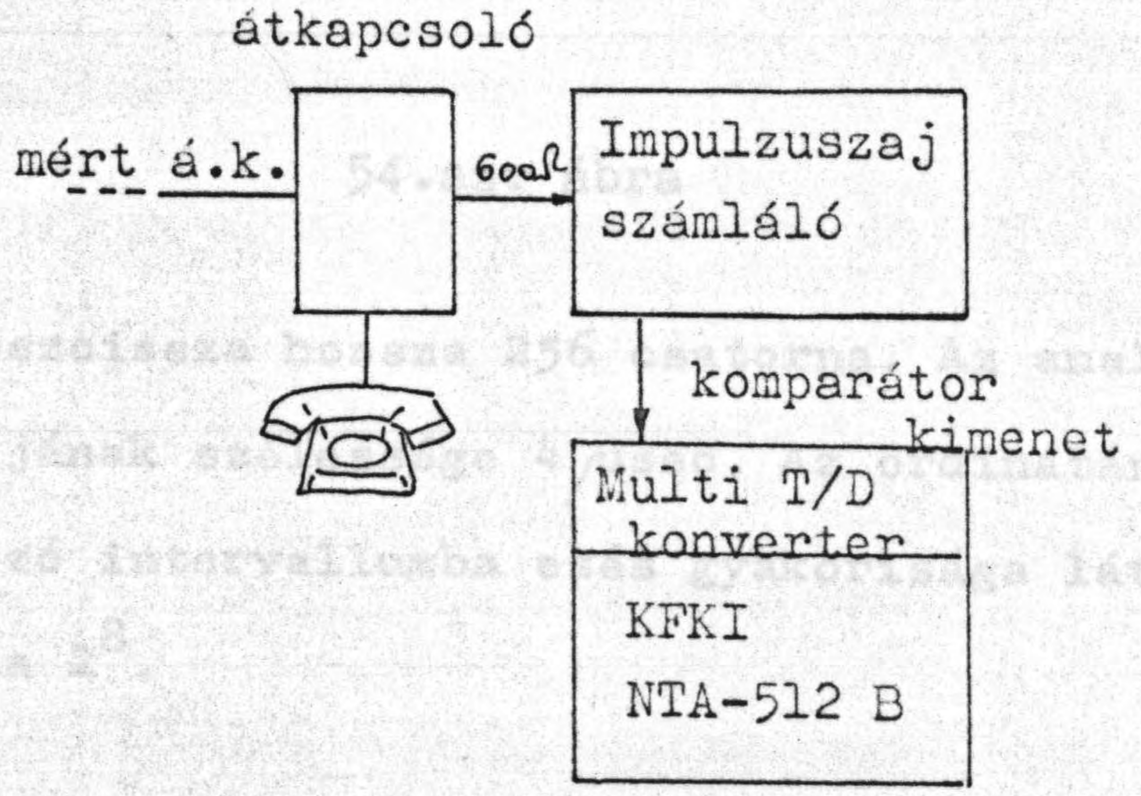
megkövetelt hibaarány \ vonali hibaarány	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}
10^{-3}				
10^{-4}	E			
10^{-5}	E vagy C	E		
10^{-6}	C	E vagy C	E	
10^{-7}	E + C	C	E vagy C	E
10^{-8}	E + C	E + C	E + C	C

4.4 sz. táblázat

4.6 Zajimpulzusok időtartamának valószinüségi eloszlása

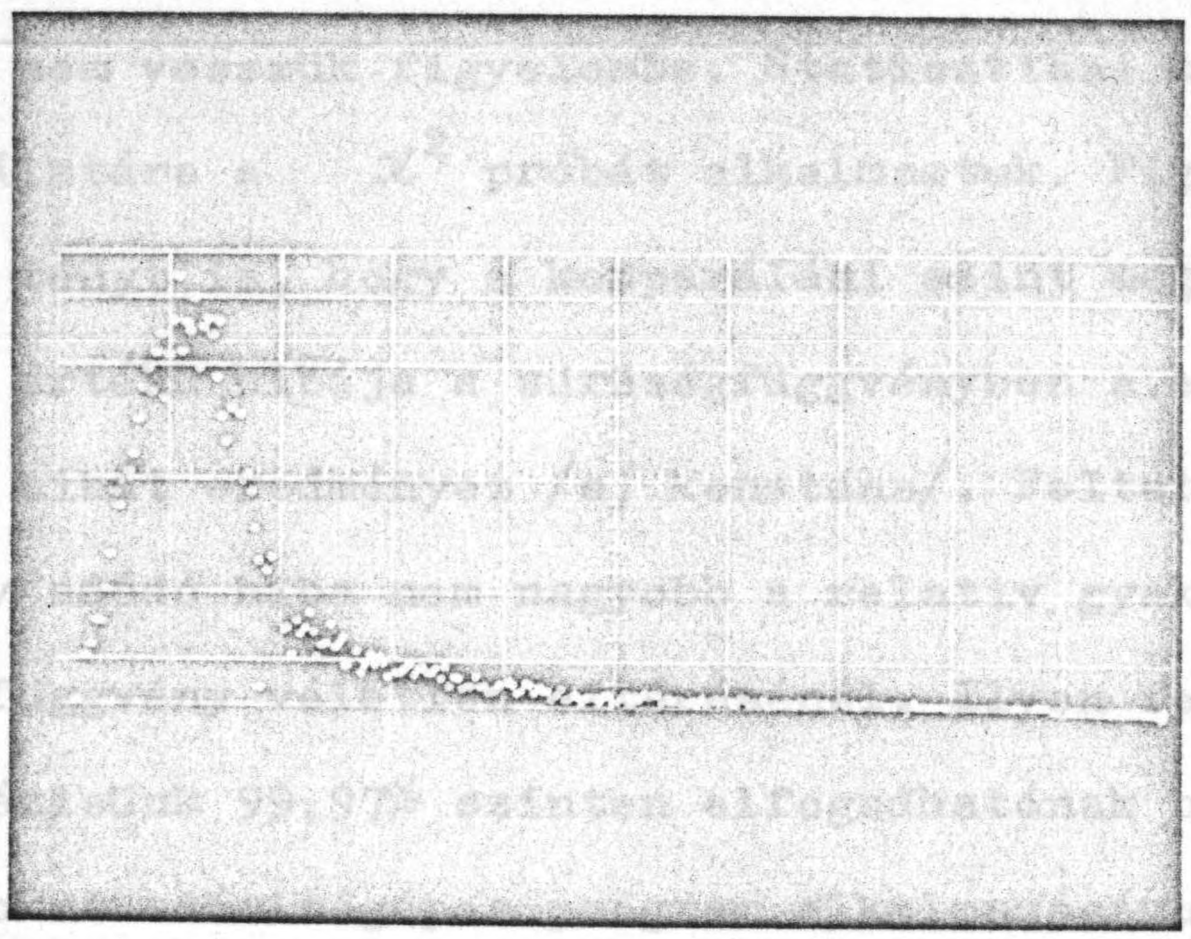
Ebben a pontban arra keressük a választ, hogy a választott komparálási szintünkön megjelenő zajimpulzusok időtartamának valószinüségi eloszlás, illetve sürüségfüggvényét milyen folytonos eloszlással közelithetjük. A vizsgálat alkalmával kapott empirikus sürüségfüggvények ismeretében megbecsüljük az eloszlás paramétereit.

A vizsgálat során választott küszöbszintet az eredő zajfolyamat effektiv értéke felett 20 dB-el állitottuk be. A méréshez a CCITT V.55 ajánlásának megfelelő TT5352 tipusú impulzuszaj számláló berendezést alkalmaztuk. Az impulzuszaj számláló berendezés komparátor áramkörének kimenetéhez a KFKI NTA-512 B tipusú analizátort csatlakoztattuk, a Multi T/D konverter egységen keresztül. A mérés kapcsolási elrendezése az 53. sz. ábrán látható.



53.sz. ábra

A méréseket az impulzuszaj számláló lapos és adatcsatorna szürő állásaiban végeztük el. Adatcsatorna szürőállásban végzett mérési sorozat alkalmával kapott részeredményt /gyakorisági hisztogram/ az analizátor katódsugárcsövén megjelenitettük és lefényképeztük. Az ernyőfénykép az 54. sz. ábrán látható.



54.sz. ábra

Az abszcissza hossza 256 csatorna. Az analizátor egy csatornájának szélessége 4/usec. Az ordinátán, az x tengelyhez tartozó intervallumba esés gyakorisága látható. Az ordináta hossza 2^8.

A 40/usec szélességü intervallumba esés relativ gyakoriságai a 45. sz. táblázatban találhatók. A lapos szürő alkalmazásával meghatározott hisztogram az 55. sz. ábrán látható. A méréssel meghatározott adatok ismeretében azt a hipotézist állitjuk fel, hogy a rögzitett komparálási szinten meghatározott zajimpulzusok időtartamainak eloszlása, a mérési intervallum döntő szakaszán, exponenciális. Mivel a sürüségfüggvény értékére vonatkozó néhány mérés adata nem felel meg ennek a képnek, a 0-hoz közeli x értékeket nem vesszük figyelembe. Statisztikai hipotézisünk vizsgálatára a χ^2 próbát alkalmaztuk. Figyelembe vettük azt a tényt is, hogy a komparálási szint meghatározásának ε értékü hibája a sürüségfüggvényben a.e^{ε} mértékü relativ hibát eredményez /a, konstans/. Feltettük azt is, hogy az igy adódó hiba nem nagyobb a relativ gyakoriság és a sürüségfüggvény véletlen eltérésénél. Ilyen feltételek mellett hipotézisünk 99,97% szinten elfogadhatónak bizonyult. A vizsgálatokat számitógépes program alkalmazásával végeztük.

Adatcsatorna szürővel végzett mérés

A paraméterek számitásból adódó értékei és a megfelelő eloszlásfüggvények ill. jellemző adatai a következők:

feltételes eloszlásfüggvény:

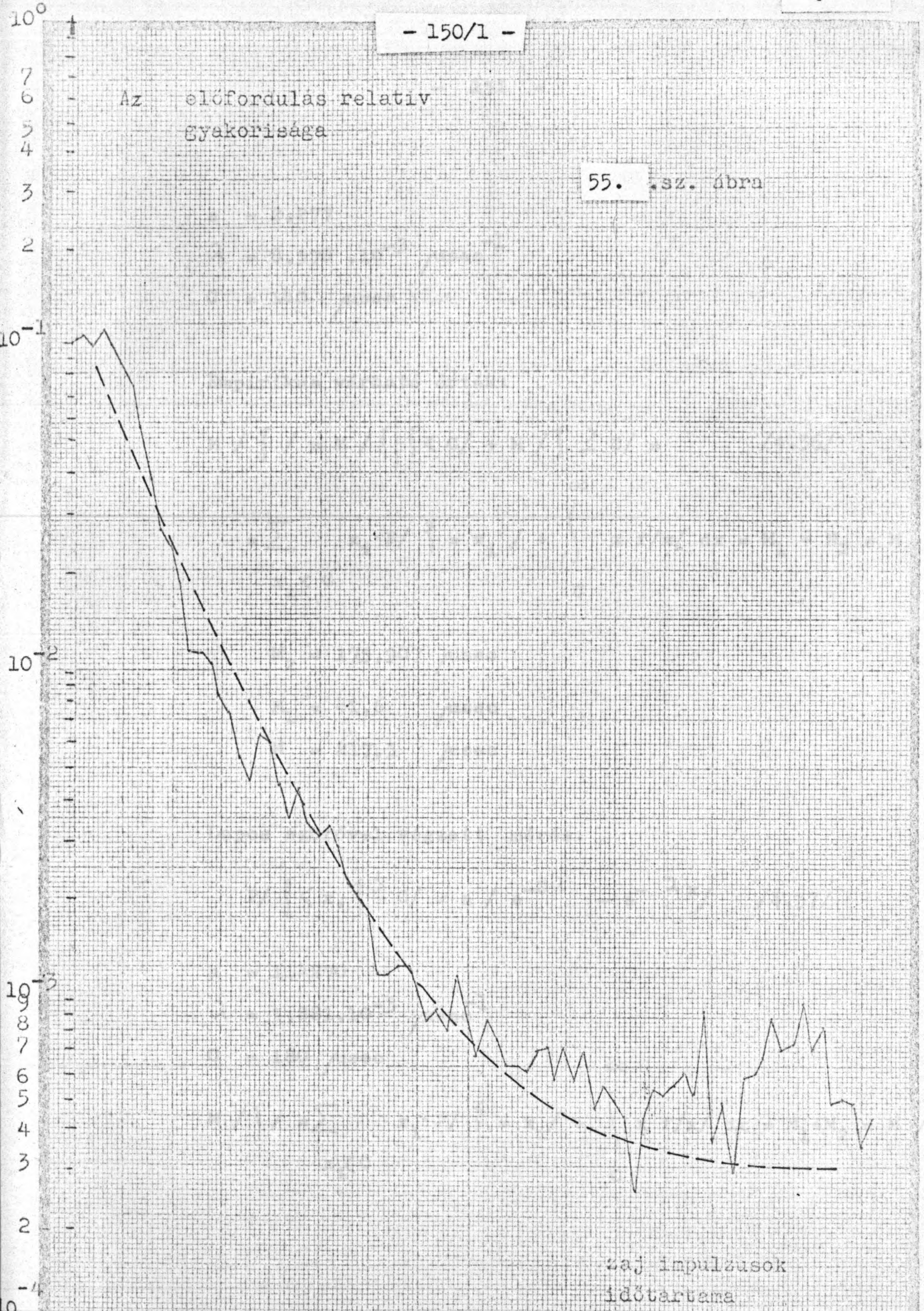
$$P/\{ < x, \{ \geq C/ = a/\ e^{-C\cdot\lambda} - e^{-\lambda\cdot x}/ \qquad /4.35/$$

lapos

- 150/1 -

Az előfordulás relativ gyakorisága

55. sz. ábra



$a = 2{,}277$

$\lambda = 8{,}570 \cdot 10^{-3}$ /usec^{-1}

$C = 140$ /usec

Empirikus várható érték:

$$M/\xi/ = M/\xi \mid \xi < C/ + M/\xi \geq C/ = \qquad /4.36/$$

$$= \sum_{x_i < C} x_i \cdot P/\xi = x_i/ + \int_{C}^{\infty} x\, f/x/\, dx = M_1 + M_2 = M$$

$M_2 = 175{,}907$ /usec

$M_1 = 41{,}6$ /usec

$M = 217{,}5$ /usec

Lapos szürővel végzett mérés:

$$P/\xi < x, \xi \geq C/ = a/\, e^{-C\cdot\lambda} - e^{-\lambda\cdot x}/ \qquad /4.37/$$

$a = 1{,}4270$

$\lambda = 5{,}881 \cdot 10^{-3}$ /usec^{-1}

$C = 180$ /usec

$$M/\xi/ = \sum_{x_i < C} x_i \cdot P/\xi = x_i/ + \int_{C}^{\infty} x\, f/x/\, dx = M_1 + M_2 = M \qquad /4.38/$$

M_2 = 73,113 /usec

M_1 = 43,6 /usec

M = 116,713 /usec .

Időintervallumba esés relativ gyakorisága adatcsatorna szürővel végzett mérés esetében. Az időintervallumok mikrosec.dimenziójúak.

időintervallum /usec	relativ gyakoriság
60 - 100	0,18
100 - 140	0,19
140-180	0,22
180 - 220	0,11
220 - 260	0,10
260 - 300	$8,5.10^{-2}$
300 - 340	$6,8.10^{-2}$
340 - 380	$3,8.10^{-2}$
380 - 420	$2,6.10^{-2}$
420 - 460	$1,8.10^{-2}$
460 - 500	$9,0.10^{-3}$
500 - 540	$6,2.10^{-3}$
540 - 580	$8,2.10^{-2}$
580 - 620	$4,4.10^{-3}$
620 - 660	$4,4.10^{-3}$
660 - 700	$3,2.10^{-3}$
700 - 740	$2,8.10^{-3}$
740 - 780	$2,4.10^{-3}$
780 - 820	$2,5.10^{-3}$
820 - 860	$2,4.10^{-3}$

45. sz. táblázat

4.7 Számlált zajimpulzusok gyakorisága a küszöbszint függvényében

Távbeszélő tipusú távközlő csatornán üzemelő adatátviteli összeköttetéseink létesitésénél különböző, sokszor egymásnak ellentmondó, szempontok szerint választjuk meg a rendszer adószintjét. Az alacsony értékü hibaarány elérése céljából kivánatos a minél magasabb adószint alkalmazása. Ennek ellentmondanak azonban a vivőáramú rendszerek terhelési viszonyai. Célunk tehát az elérhető legelőnyösebb kompromisszum kiválasztása. Ez azonban megkivánja, hogy különböző komparálási szinteken megtudjuk határozni adott időintervallumon belül a számlált zajimpulzusok számának átlagértékét.

Ezen okok miatt, vizsgálatokat végeztünk, hogy megállapitsuk azt, hogyan változnak különböző küszöbszinteken a számlált zajimpulzusok gyakoriságai.

Egyetlen impulzuszaj számláló berendezéssel - több komparálási szinten - végzett mérés esetében a mérés időtartama hosszú lenne. A mérés időtartamának csökkentése, valamint megbizhatóságának növelése céljából 10-csatornás impulzuszaj számláló berendezést terveztem, és épitettünk meg, a Posta Kisérleti Intézetben. A méréshez ezt a berendezést alkalmaztuk. A berendezés egyes csatornáinak jellemzői a CCITT V.55 ajánlásait kielégitik. A csatornák közötti küszöbszint különbségeket 3 dB értékre állitottuk be a mérés során. A berendezés rövid leirása a 4.8 pontban található.

A mérési sorozat alkalmával 50-50 db 15 perc időtartamú mérést végeztünk, Rotary tipusú központon átmenő összeköttetéseken, lapos és adatcsatorna szürő állásokban.

A 15 perc mérési időtartama alatt - különböző küszöbszinteken - várható számlált zajimpulzusok darabszámának átlagértékeit az 56. sz. ábrán rajzoltuk fel. A relativ gyakoriság értékeit az 57. sz. ábrán Gauss papiron is felrajzoltuk. A lépcsős eloszlásfüggvény nem közelithető normális eloszlással, ami az eredő zajfolyamat feszültsége empirikus sürüségfüggvényének ismeretében várható is volt.

A lépcsőfüggvény egyenesekkel közelithető. Időegység /15 perc/ alatt a számlált zajimpulzusok darabszámának változását - a küszöbszint függvényében - exponenciális összefüggéssel irhatjuk le. Az x küszöbszinten 15 perc alatt regisztrált számlált zajimpulzusok darabszámát az alábbi empirikus összefüggésből határozhatjuk meg, adatcsatorna szürő beiktatása esetén:

$$k_1 = e^{6,1 - \frac{/30 - x/}{5}}, \qquad /4.39/$$

lapos szürő esetén:

$$k_2 = e^{6,6 - \frac{/30 - x/}{3}}, \quad \text{ha} \qquad /4.40/$$

$$30 \geq x \geq 18, \text{ és}$$

56.sz.ábra

számlált zajimpulzusok
száma/1 perc

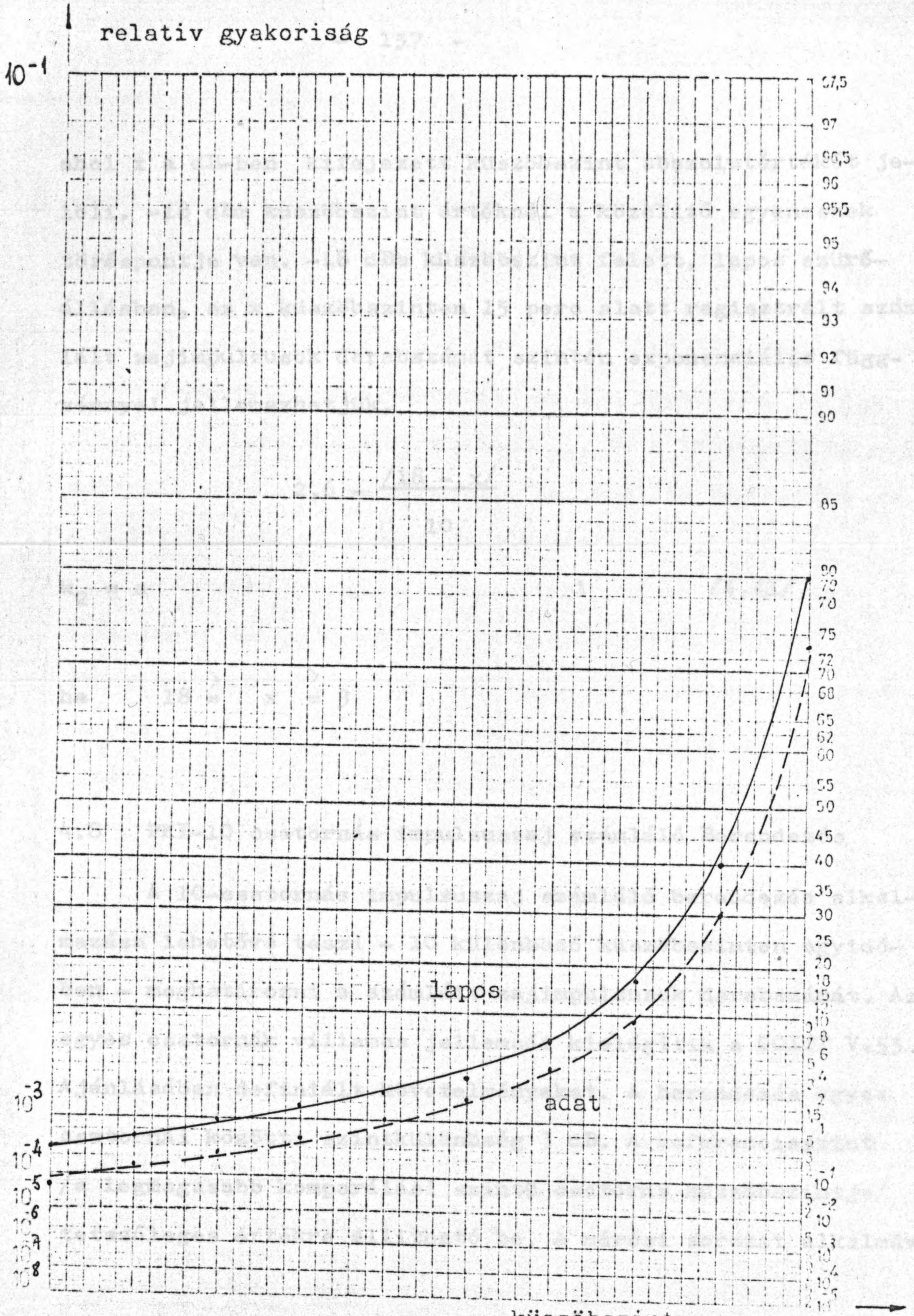
Az egyik tengelyen logaritmikus osztás 1-1000-ig. Egység 90 mm.
A másik mm.

lapos

adatcsatorna szűrő

küszöbszint [dBm]

-3 -6 -9 -12 -15 -18 -21 -24 -27 -30


relativ gyakoriság
10⁻¹
10⁻²
10⁻³
10⁻⁴
10⁻⁵
10⁻⁶
10⁻⁷
10⁻⁸
lapos
adat
küszöbszint
[dB]
-3
-6
-9
-12
-15
-18
-21
-24
-27
-30

57.sz.ábra

ahol x a dB-ben kifejezett küszöbszint abszolutértékét jelöli. -18 dBm küszöbszint értéknél a közelitő egyenesnek töréspontja van. -18 dBm küszöbszint felett, lapos szürőállásban, az x küszöbszinten 15 perc alatt regisztrált számlált zajimpulzusok darabszámát szintén exponenciális függvénnyel jellemezhetjük,

$$k_2 = e^{2,6 - \frac{/18 - x/}{10}}, \qquad /4.41/$$

ha $18 \geq x \geq 3$.

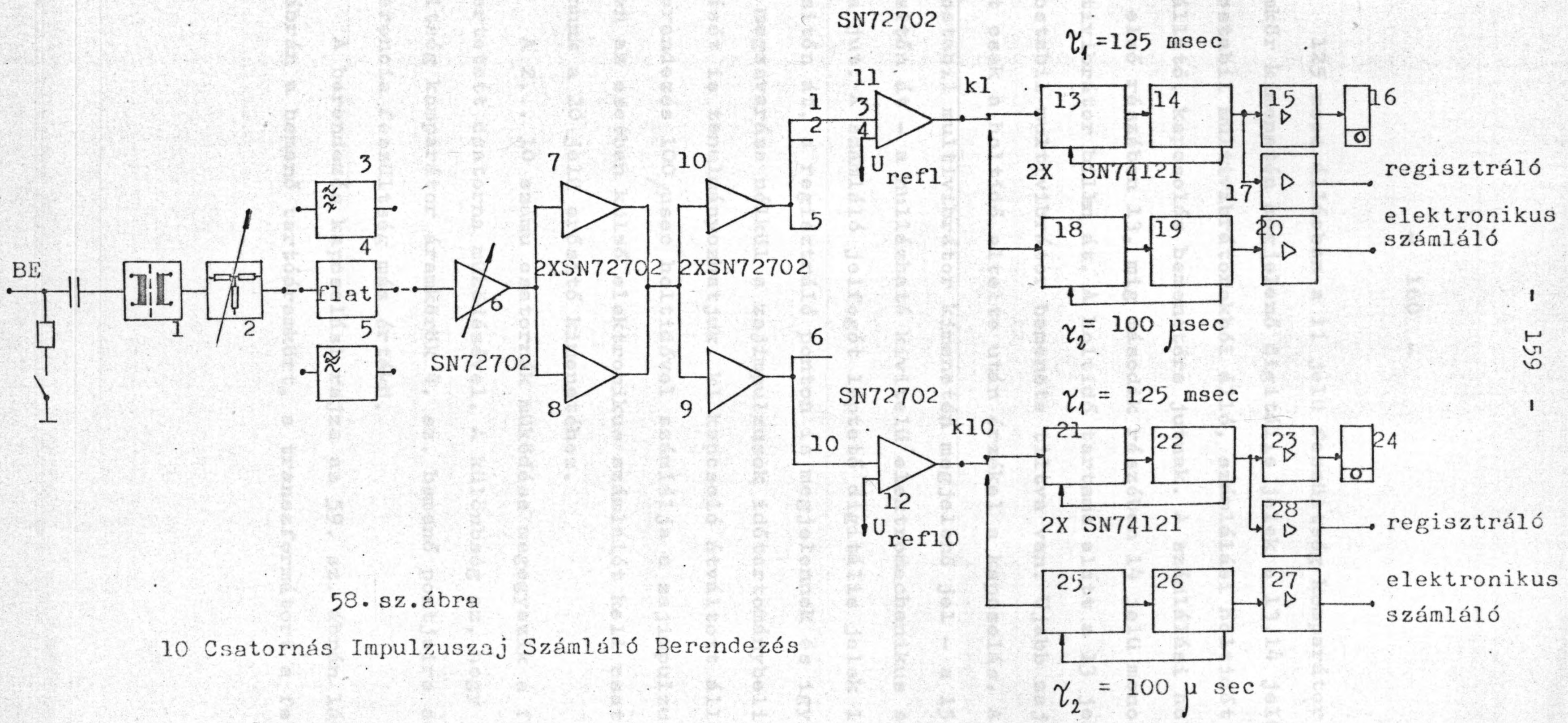
4.8 PKI-10 csatornás impulzuszaj számláló Berendezés

A 10-csatornás impulzuszaj számláló berendezés alkalmazása lehetővé teszi - 10 különböző küszöbszinten egyidőben - meghatározni a számlált zajimpulzusok darabszámát. Az egyes csatornák villamos jellemzői kielégitik a CCITT V.55 Ajánlásában definiált követelményeket. A berendezés egyes csatornái közötti szintkülönbség 3 dB. A referenciaszint /a legmagasabb komparálási szintü csatorna küszöbszintje/ tetszőleges értékre állitható be. A mérési sorozat alkalmával

beállitott komparálási szintek:0dB, -3 dB ... -27 dB.
A berendezés felépitése és müködése az 58. sz. blokkdiagram alapján a következő.

A berendezés bemenő áramkörei a TT-5352 tipusú berendezés áramköreivel megegyeznek. Az 1,2 egységeken keresztüljutó zajimpulzus a választható 3, 4, 5 sávszürőn és 6 jelü erősitőn keresztül az abszolutérték erősitő bemenetére jut. A 7,8 jelü erősitő a zajimpulzus pozitiv, illetve negativ félperiódusait erősiti. A kimeneten pozitiv polaritású egyenirányitott jel jelenik meg. Az abszolutérték erősitő kimenetén megjelenő zajimpulzus a 9 és 10 jelü elválasztó erősitőre jut. A 10 jelü erősitő kimenetéhez az 1-5, mig a 9. jelü kimenetéhez a 6-10 csatornák komparátor áramköreinek bemenete /3. sz. pont/ csatlakozik.

Az ábrán csak az 1. és 10. csatornákat rajzoltuk fel. A 11 jelü komparátor áramkör 3. sz. bemenetére a zajimpulzus mig a 4. sz. bemenetre a referencia feszültség jut. Ha a zajimpulzus amplitudója eléri vagy meghaladja a komparálási szint /referencia feszültség/ értékét, a komparátor áramkör kimenetén logikai 1 jel jelenik meg. kl kapcsolóval a 125 msec illetve 100/usec számlálási holtidő állitható be.



58. sz.ábra

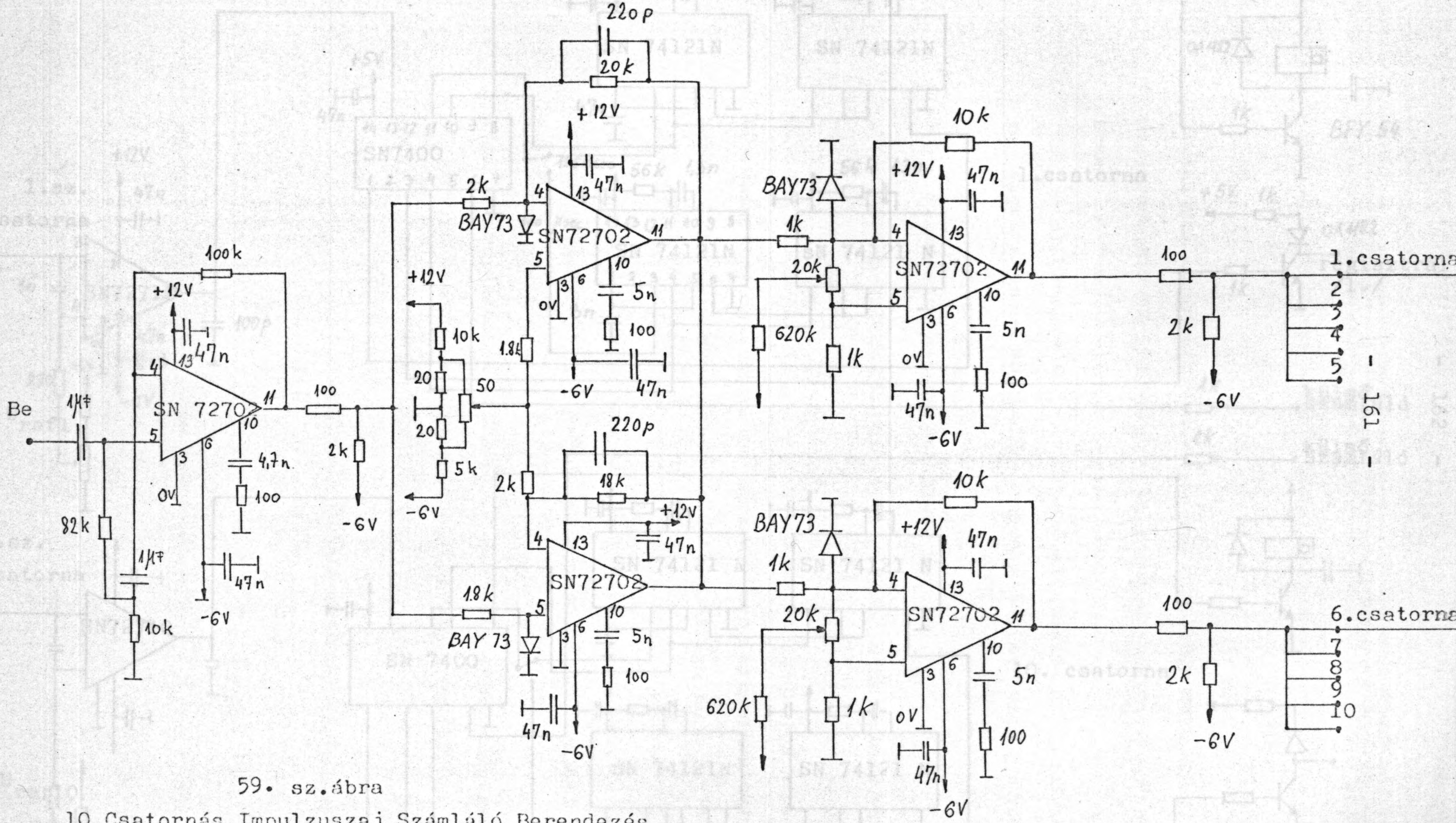
10 Csatornás Impulzuszaj Számláló Berendezés

125 msec állásban a 11 jelü feszültség komparátor áramkör kimenetén megjelenő digitális jelek a 13,14 jelü monostabil multivibrátorokból álló, számlálási holtidőt előállitó, kapcsolás bemenetére jutnak. A számlálási holtidő első részében 13, mig második részében 14 jelü monostabil multivibrátor billen át. A holtidő tartama alatt a 13 jelü monostabil multivibrátor bemenete tiltva van. Ujabb zajimpulzust csak a holtidő eltelte után érzékel a kapcsolás. A 14 monostabil multivibrátor kimenetén megjelenő jel - a 15 jelü erősitőn át - a nullázható kivitelü elektromechanikus számlálóra jut. A számláló jelfogót léptető digitális jelek 17 jelü erősitőn át, a regisztráló ponton is megjelennek és igy a mérés megzavarása nélkül a zajimpulzusok időtartománybeli viselkedését is tanulmányozhatjuk. kl kapcsoló átváltott állásában a berendezés 100/usec holtidővel számlálja a zajimpulzusokat. Ebben az esetben külső elektronikus számlálót kell csatlakoztatnunk a 20 jelü erősitő kimenetéhez.

A 2... 10 számu csatornák müködése megegyezik a fent ismertetett csatorna müködésével. A különbség az, hogy a feszültség komparátor áramkörök 4. sz. bemenő pontjaira adott referencia feszültség más értékü.

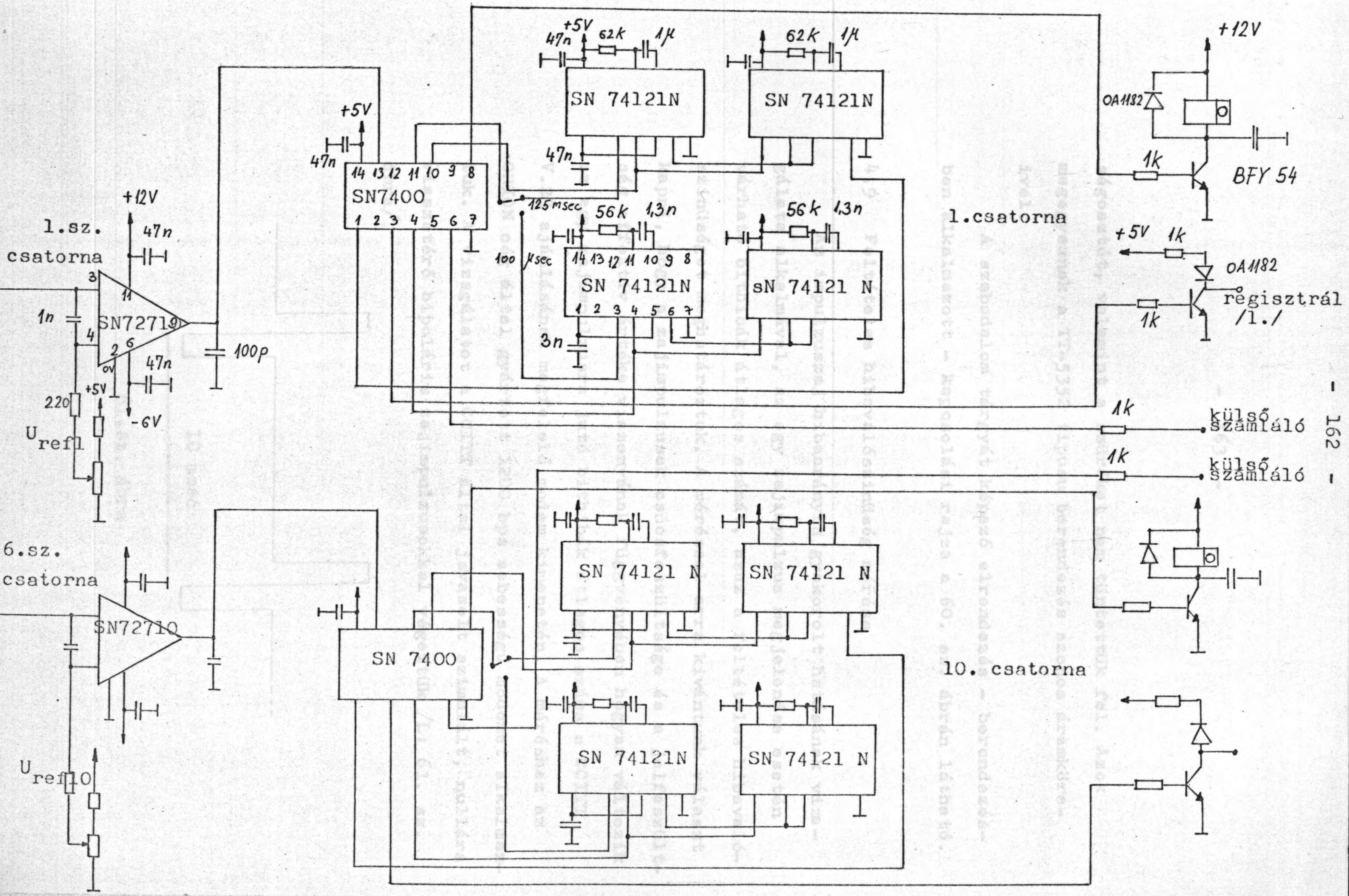
A berendezés kapcsolási rajza az 59. sz. ábrán látható.

Az ábrán a bemenő tartóáramkört, a transzformátort a feszült-



59. sz.ábra

10 Csatornás Impulzuszaj Számláló Berendezés

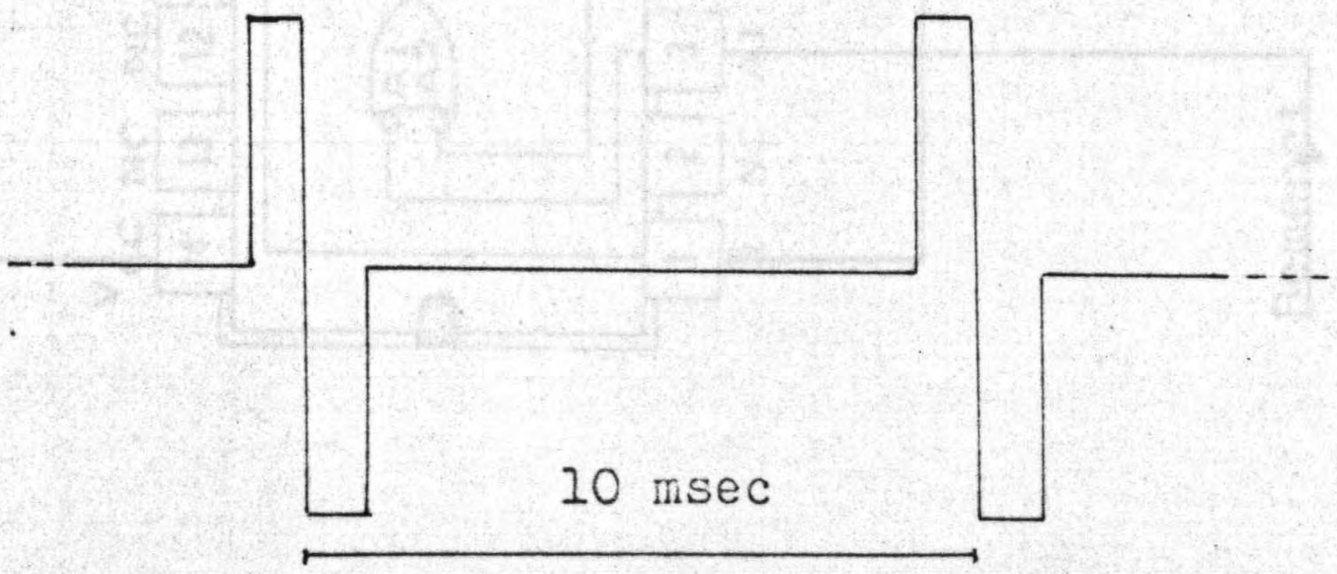

1.sz.
csatorna
+12V
47n
1n
SN72719
100p
220
+5V
-6V
U ref1
+5V
47n
62k
1µ
SN 74121N
SN 74121N
47n
SN7400
14 13 12 11 10 9 8
1 2 3 4 5 6 7
125 msec
100 µsec
56k
1,3n
SN 74121N
sN 74121 N
3n
1.csatorna
+12V
OA1182
1k
BFY 54
+5V
1k
OA1182
regisztrál
/1./
1k
külső
számláló
1k
külső
számláló
6.sz.
csatorna
SN72710
U ref10
SN 7400
SN 74121 N
SN 74121 N
SN 74121N
SN 74121 N
10. csatorna

ségosztót, valamint a szürőket nem tüntettük fel. Azok megegyeznek a TT-5352 tipusu berendezés azonos áramköreivel.

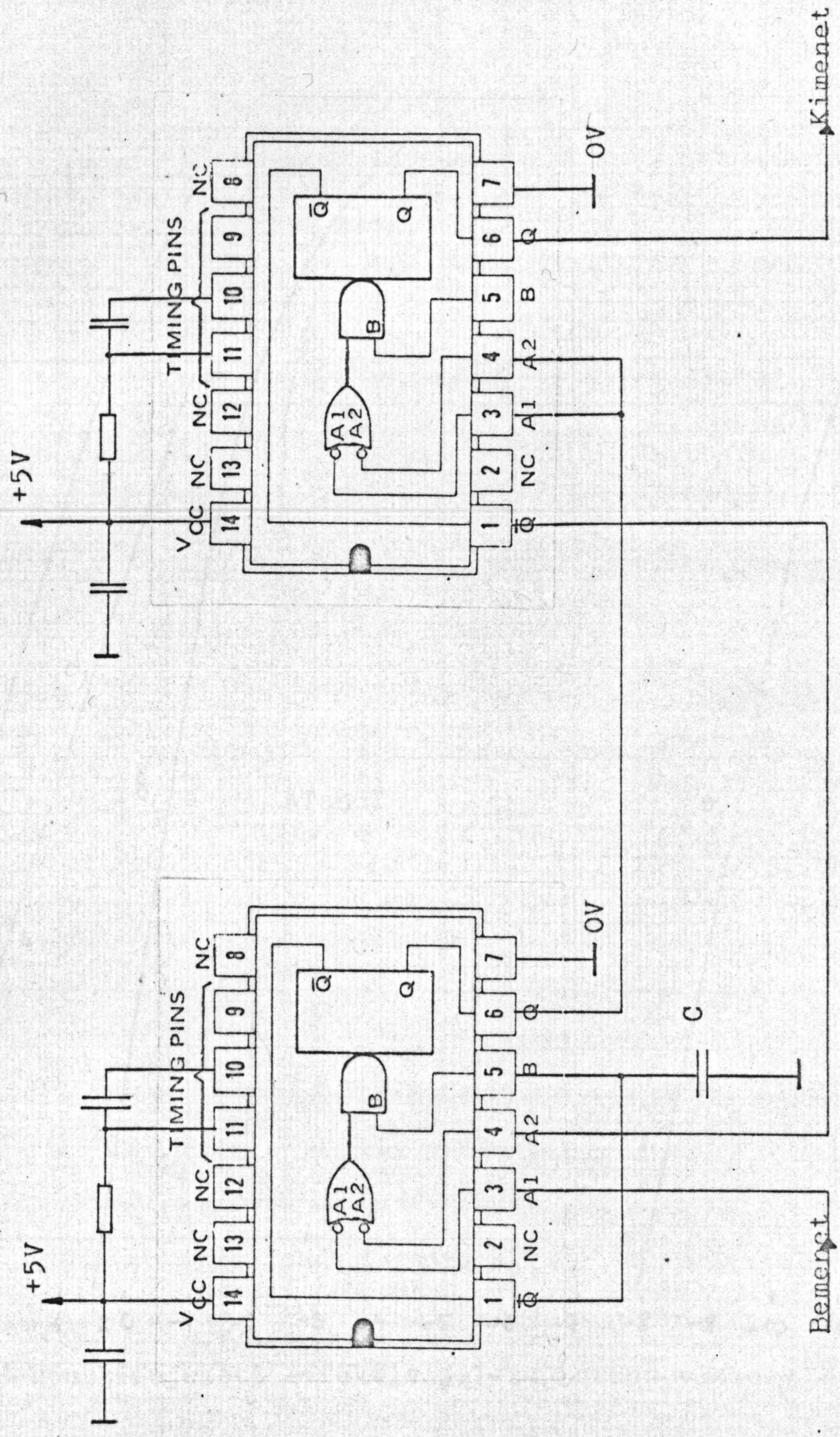
A szabadalom tárgyát képező elrendezés - berendezésben alkalmazott - kapcsolási rajza a 60. sz. ábrán látható.

4.9 Feltételes hibavalószinüség mérése

Az impulzuszaj hibaarányra gyakorolt hatásának vizsgálata alkalmával, az egy zajimpulzus megjelenése esetén várható bithibák átlagos számát, azaz a feltételes hibavalószinüséget meghatároztuk. A méréssel arra kivántunk választ kapni, hogy a zajimpulzusok csúcsfeszültsége és a jelfeszültség effektiv értéke viszonyának függvényében hogyan változik az egy zajimpulzusra jutó bithibák átlagos száma a CCITT V.23 ajánlásának megfelelő modem kimenetén. A méréshez az ORION cég által gyártott 1200 bps sebességü modemet alkalmaztuk. A vizsgálatot a CCITT által javasolt szimulált, nullára visszatérő bipoláris zajimpulzusokkal végeztük /L: 61. sz. ábra/.



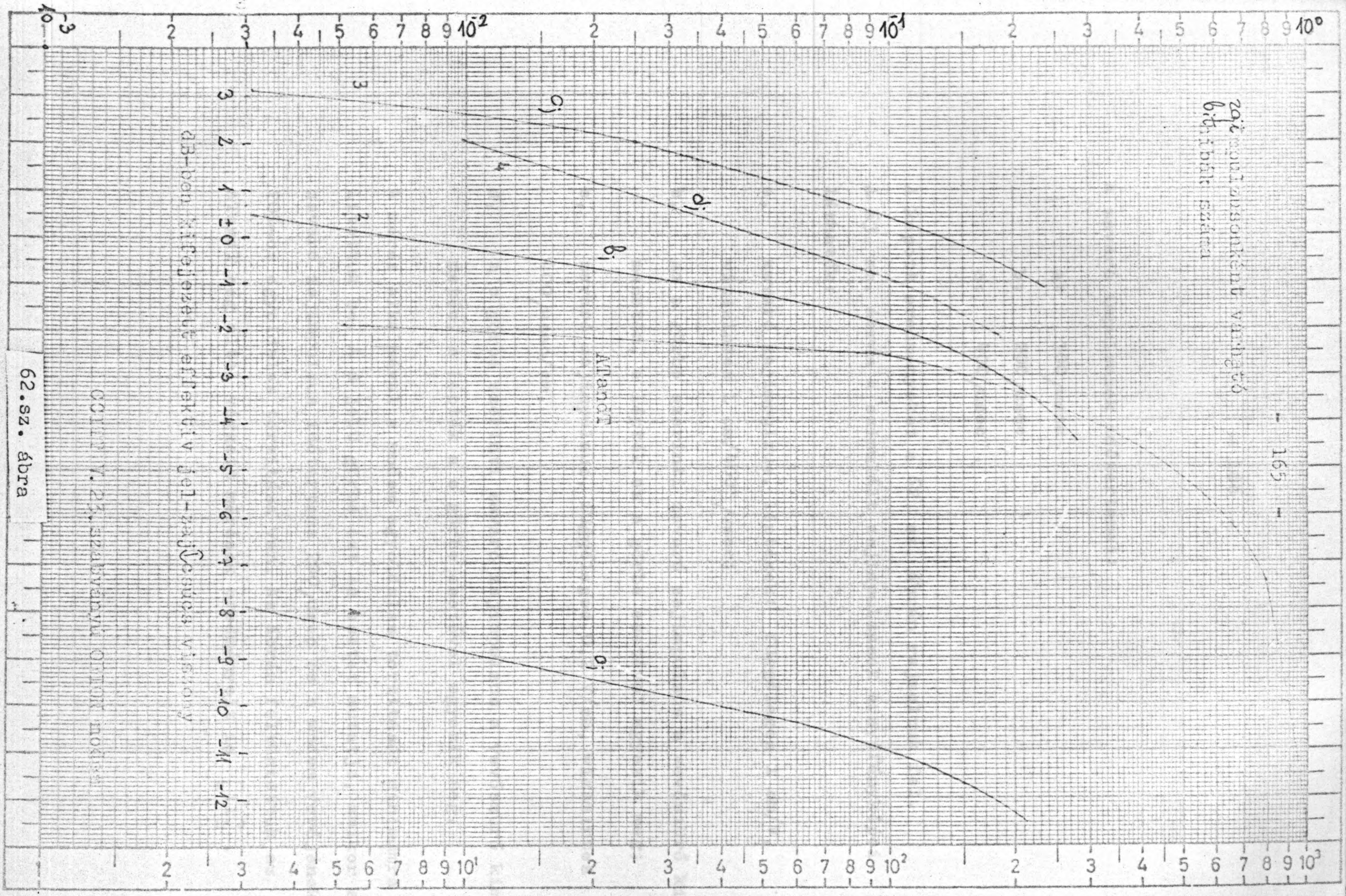
61.sz. ábra



60. sz. ábra

Bemenet

62.sz. ábra


10⁻³
10⁻²
10⁻¹
10⁰
10¹
10²
10³
2
3
4
5
6
7
8
9
3
2
1
+0
-1
-2
-3
-4
-5
-6
-7
-8
-9
-10
-11
-12
dB-ben a teljesítmény változása
Állandó
Az egyik tengelyen logaritmikus osztás 1-1000-ig. Egység 90mm.
A másik mm.

A zavaró impulzusok időtartamai:

a: 100 /usec

b: 200 /usec

c: 400 /usec .

A kapott eredményeket a 62. sz. ábrán rajzoltuk fel.

A 63. sz. ábrán a szimulált zajimpulzusok ernyőfényképei láthatók:

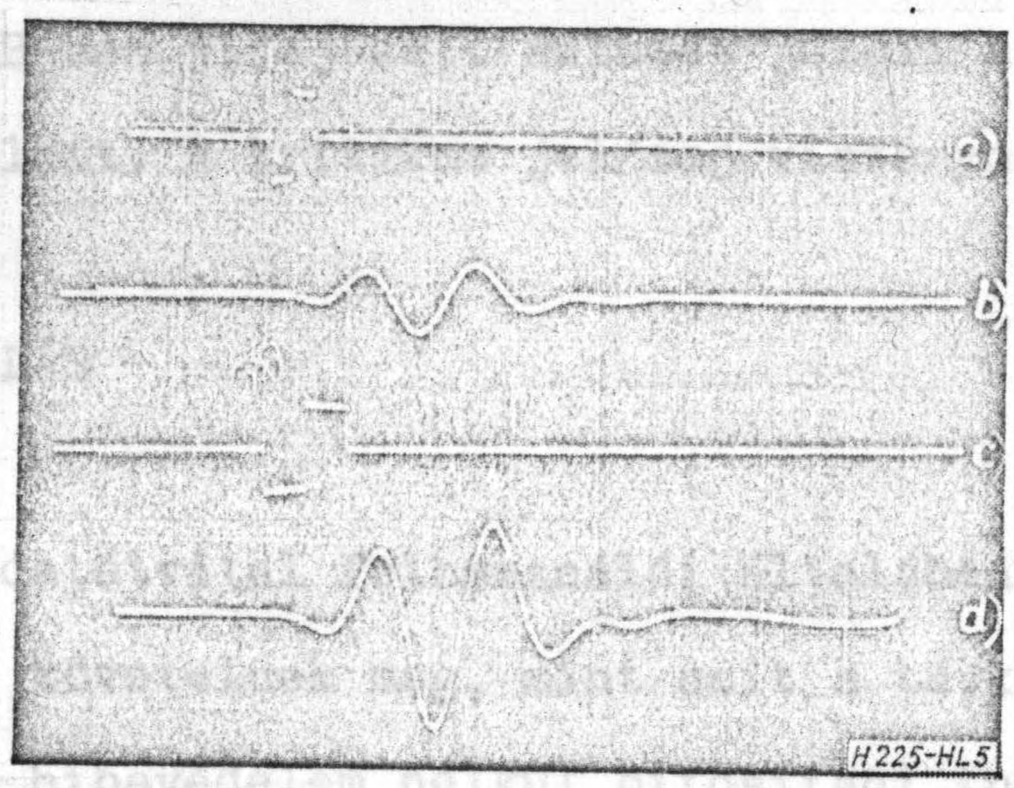
a, zavaró zajimpulzus, léptékek: függőleges 1 cm/V, vizszintes 1 cm/400 /usec;

b, az a görbe szerinti zavaró zajimpulzus a vevőszürő kimenetén, a lépték az a görbe esetével egyezik meg;

c, zavaró zajimpulzus, függőleges 0,2 V/cm, vizszintes 400 /usec/cm,

d, a c görbe szerinti zavaró zajimpulzus a vevőszürő kimenetén, a lépték a c görbe esetével egyezik meg.

A mérés alkalmával a modem egyoldalas torzitását minimumra állitottuk be. A d jelü görbe azt az esetet mutatja, amikor a zavaró zajimpulzus időtartama 200 /usec és a modem vevőjének 20%-os egyoldalas torzitása van. Az ábrán feltüntettük az ATandT cég által végzett mérések eredményeit is [11.] .



63.sz. ábra

A 62. sz. ábrából látható, hogy ha a zajimpulzus pillanatnyi amplitudója meghaladja a jel szintjét /effektiv/, akkor viszonylag nagy valószinüséggel várható hibát bit megjelenése. A 62. sz. ábrát figyelembe véve, az egy zajimpulzusra jutó bithibák számának átlagértékére jó becslést ad esetünkre is a [11.] -ben közölt empirikus összefüggés:

$$k_2 . e^{-k_3 . \ell}$$

$$h = k_1 . e \quad \text{, ahol} \qquad / 4.42/$$

k_1, k_2, k_3 konstansok, és értéküket a modem tipusa határozza meg. ℓ a dB-ben kifejezett szintet jelöli a kritikus jel/zaj viszony felett. A kritikus jel/zaj viszonynál : $h = 10^{-3}$.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az adatátvitel felhasználói általában alacsonyabb hibaarányt követelnek meg, mint amit a távközlési hálózat különleges hibavédelem nélkül bitositani tud. Amióta az adatátviteli összeköttetések létesitése elterjedt, folyamatosan vizsgálják a különböző hibavédelmi megoldásokat.
A hibavédelem alapvetően ugy fogalmazható meg, hogy a vételi oldalon helyre kell állitani az adás oldalon beadott impulzus sorozatot, leválasztva ebből azokat az impulzusokat, melyeket a vonalon jelenlévő zajok, torzitások és rövid idejü megszakadások megváltoztattak / eltorzitottak/. A hasznos jelnek és a zavaroknak a szétválasztása akkor oldható meg a legegyszerübben, ha pontosan ismerjük mind a jel, mind a zaj matematikai modelljét és az eszközöket ennek a modellnek alapján egzakt módon tudjuk méretezni.

A hibavédelmi eszközök méretezésének mérnöki munkáját azonban meg kell, hogy előzze a hibafolyamatok matematikai modelljének elkészitése. Ennek a disszertációnak a legfőbb célja az volt, hogy a tervező mérnökök kezébe a hibafolyamatokról illetve a hibákat legnagyobb valószinüséggel előidéző impulzuszajokról matematikai tárgyalásra alkalmas modellt

készitsen. A modell elvi meghatározása után - gyakorlati mérések alapján - megadjuk a matematikai modell főbb paramétereit, és ezzel a vételi oldalon jellemezzük azokat az elektromos jeleket, melyek a vonali alapzajból és az impulzuszajból keletkezhek.

A javasolt modell az impulzuszajokat normál eloszlásu függvények összegeként adja meg. A vizsgálatok során meghatározza a három normál eloszlás paramétereit, és ebből közvetlen következik, hogy bizonyos esetekben a hibavédelem rendkivüli módon leegyszerüsödhet . Gyakorlatban is bizonyitja, hogy kb. 1 nagyságrendü hibaarány javulás érhető el olyan eszközökkel,mint az elkenőszürő.

A mérnöki számitásokra alkalmas matematikai modell bonyolultabb esetekre is használható. Nagyobb arányú hibavédelem esetén ciklikus kódos hibavédelmi berendezéseknél a ciklus hossza szintén méretezhető, ha ismerjük a zavarforrás statisztikus jellemzőit. Végül a jelek és a zajok eltérő sztochasztikus függvényekkel való jellemzése lehetővé teszi egyszerü korrelációs vevő tervezését, ami aránylag egyszerü hibavédelmi berendezések előállitását teszi lehetővé.

Bár a disszertáció elkészitése során nem készültek el ezek a hibavédelmi berendezések, és csak elkenő szürőkkel végeztünk kisérleteket, de előkészitettük azt a matematikai apparátust melynek alkalmazása a szolgáltatás bevezetésével egyidejüleg fellépő igény kielégitését : az optimális, gazdaságos hibavédelmi berendezések kialakitását megkönnyitheti.

Budapest. 1974. junius.

IRODALOMJEGYZÉK

1. Wolontis V.M.: Data Communications in the Bell Systems; Bell Laboratories Record, 1970, august.

2. Shannon, C.E.: A Mathematical Theory of Communications, B.S.T.J., 27, 1948.

3. Gilbert, E.N.: Capacity of a Burst-Noise Chanel, B.S.T.J., 1960. sept.

4. Sussman, S.M. Analaysis of the Pareto Model for Error Statistics on Telephone Circuits, IEEE Trans.on Comm.Systems. CS-11 köt. 1963.

5. Kaenel, R.A. and others.: Burst Measurements in the Time Domain, Trans.Audió and Electro-acustics, 1966. September,

6. CCITT Fehér Könyv, V.55.Ajánlás

7. Fennick, J.H.: Amplitude Distributions of Telephone Chanel Noise and a Model for Impulse Noise, B.S.T.J. 1969. december.

8. Fennick, J.H.: Understanding Impulse-Noise Measurements, IEEE Transactions on Comm, 1972. április.

9. Mertz, P.: Model of Impulsive Noise for Data Transmission, IRE Trans.on Comm. Systems, 1961. junius.

10. Engel, J.S.: Digital Transmission in the Presence of Impulsive Noise, B.S.T.J. 1965. október

11. A.T. and T. Comments on the Use of Impulse Noise Counters, CCITT, COM Sp.A. No. 113. 1964/68.

12. Gurov, Jemeljanov, Jetruhin, Bazilevics: Az adatátvitel alapjai vezetékes vivő-frekvenciás csatornákon, Moszkva, 1964.

13. Lerner, R.M. Private Comunications and conversations between Lerner, Karp, Mercurinó, and Kelly of the Lincoln Lab. Mass. Instr. Techn. Rixon Electronics, Inc., Engrg. Memo; July 31.1959.

14. Wainwright, R.A.: On the Potential Advantage of a Smearing-Desmearing Filter Technique in Overcoming Impulse-Noise Problems in Data Systems IRE Trans.on Communication Systems december, 1961.

15. Sunde E.D.: Pulse Transmission by AM, FM and PM in the presence of Phase Distortion, B.S.T.J. March, 1961.

16. Rice, S.O.: Mathematical Analysis of Random Noise, B.S.T.J. 1944. 23.

17. Gilbert, E.N. and Pollak H.O. Amplitude distribution of Shot Noise, B.S.T.J. 1960. march.

18. Nasell, I., Ellison, C.R., Jr. and Holmstrom R. The Transmission Performance of Bell System Intertoll Trunks, B.S.T.J. 1968. october,

19. Alexander, A.A.Gryb, R.M., and Nast D.W. Capabilities of the Telephone Network for data transmission, B.S.T.J. 1960. max,

20. Bodonyi, A.B. Effects of Impulse Noise on Digital Data Transmission, IRE Trans. on Comm. Systems, 1961. December,

21. Bello, P.A. and Esposito, R. Error probabilities Doe to Impulsive Noise in Linear and Hard-Limited DPSK Systems, IEEE Trans, on Comm. Techn. 1971. February,

22. Fennick, J.H.: A Method for the Evaluation of Data Systems Subject to Large Noise Pulses, IRE Conv. Rec. Part 1. Comm. 1. 1965. márc.

23. Richter, W.J. and Smits, T.I., Signal Design and Error Rate of an Impulse Noise channel, IEEE Trans. on Comm. Techn. 1971. august.

24. Omura, J.K. Shaft, P.D. Modem Performance in VLF Atmospheric Noise, IEEE Trans, on Comm. Techn. 1971. oktober,

25. Favin, D.L.: The 6A Impulse Counter, Bell Laboratories Record, March, 1961,

26. Dr. Lajtha Gy: Távközlő hálózatok elmélete és tervezése MK. 1971. Budapest,

27. Bennett, W.R., Davey, J.R. Data Transmission, McGraw-Hill Book Co. Inc.

28. Lucky, Salz, Weldon: Adatátvitel, MK. 1973. Budapest

29. Middleton, D.: An Introduction to Statistical Communication Theory, McGraw-Hill Book Co. Inc. 1960.

30. Baghdady, E.J. Sc. D.
Lectures on Communication Systems
Theory, McGraw-Hill Book Co.New York
1960.

31. Prékopa A. Valószinüségelmélet /1962/.

32. Lehmann, H.: Basic Concepts of Probability and
Statistics, Holden-Day, San Francisco,
1964.

33. Cramer, Mathematical Methods of statistics,
Princeton University Press, 1946.

34. Vincze, L.: Matematikai statisztika ipari alkalma-
zásokkal, MK. Budapest, 1968.

35. Rényi A.: Valószinüségszámitás, Tankönyvkiadó,
Budapest, 1966.

36. Gnyegyenko, Beljajev, Szolovjev,
Megbizhatóságelmélet Matematikai Módsze-
rei, MK. Budapest, 1970.

37. Reza. F.M.: Bevezetés az Információelméletbe, MK.
Budapest 1966.

38. Fano, R.M. Transmission of Information.
A statistical theory of communications,
Massachusetts Institute of Technology
Cambridge, Massachussetts, 1961.

39. Davenport, W.B., and Root W.L.
An Introduction to the Theory of Random Signals and Noise, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, 1958.

40. Rowe, H.E. Signals and Noise in Communication System, Princeton, N.J. Van Nostrand, 1965.

41. Bendat, J.S. and Piersol A.G.,
Measurement and Analysis of Random Data, John Wiley & Sons, Inc. New York London, Sydney,

42. Gnyegyenko, B.V., Kolmogorov, A.N.
Független Valószinüségi Változók összegeinek Határeloszlásai,
Akadémiai Kiadó, Budapest, 1951.

43. Feinstein A.: Fundations of Information Theory, McGraw Hill Book, Co. Inc., 1958.

44. Korn G.A. Random Process Simulation and Measurements, New York, NcGraw Hill Book, Co. Inc. 1956.

45. Eötvös Loránd Tudományegyetem,
Természettudományi Kar Valószinüség számitási Tanszék,
Vezetékes távközlési hálózatokban előálló véletlen zajjelenségek számitógépes módszerekkel történő vizsgálata, Tanulmány, 1973, 1974.

46. Hegyesi Lajos: Impulzuszaj amplitudó-sürüségfüggvények leirására szolgáló modell vezetékes adatátviteli rendszerekben,
Hiradástechnika, 1973. augusztus.

47. Hegyesi Lajos: Sokcsatornás vivőáramú rendszereken üzemelő FMVT berendezések szintcsökkentése hatásának vizsgálata,
Posta Kisérleti Intézet tanulmány, 1973.

48. G. Doetsch. Die Elimination des Dopplereffekts bei spektroskopischen Feinstrukturen und exakte Bestimmung der Komponenten,
Zs, Phys, 49, 1928.

49. Medgyesi Pál: Valószinüség eloszlásfüggvények keverékének felbontása összetevőire,
MTA Alkalmazott Matematikai Intézetének Közleményei II. kötet. 1953.

MAGYAR
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
KÖNYVTÁRA